# A LITERATURE REVIEW ON THE USE OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN HEALTH

Tuba ADAR

Atatürk University, Department of Industrial Engineering, Erzurum, Turkey

tuba.adar@atauni.edu.tr

Elif KILIÇ DELİCE

Atatürk University, Department of Industrial Engineering, Erzurum, Turkey

elif.kdelice@atauni.edu.tr

**ABSTRACT**: Machine learning is a sub-branch of artificial intelligence that provides solutions to many difficult problems such as image, picture and voice recognition by learning from examples instead of creating solutions using coded ready instructions. It is possible to analyze and interpret very large-scale patient data stored in a computer environment with machine learning algorithms. One of the most important usage areas of machine learning which is used in many fields in recent years is the health sector. The aim of this study is to reveal for which purposes and in which diseases machine learning methods applied in the field of health is used with literature research. As a result of the literature research, it was found that the most frequently discussed issue in the field of health studies using machine learning algorithms is the subject of early detection/diagnosis. Early diagnosis is very important to reduce risk and prolong patient life in diseases requiring long-term treatment and having risk of death. Therefore, studies on the use of machine learning algorithms in the field of early detection/diagnosis will increase day by day. However, continuing to use machine learning algorithms in health will reduce the workload of doctors and provide patients with better quality health care.

**Key words:** machine learning, health applications, diagnosis, algorithms.

# SAĞLIK ALANINDA MAKİNE ÖĞRENME ALGORİTMALARININ KULLANILMASINA YÖNELİK BİR LİTERATÜR TARAMASI

**ÖZET:** Makine öğrenmesi, kodlanmış olan hazır talimatları kullanarak çözüm üretmek yerine örneklerden öğrenerek, görüntü, resim ve ses tanıma gibi birçok zor probleme çözüm getiren yapay zekânın bir alt dalıdır. Bilgisayar ortamında saklanan büyük boyuttaki hasta verilerinin analiz edilmesi ve yorumlanması makine öğrenmesi

algoritmaları ile mümkündür. Son yıllarda birçok alanda kullanılan makine öğrenmesinin en önemli kullanım alanlarından biri de sağlık sektörüdür. Bu çalışmanın amacı sağlık alanında uygulanan makine öğrenmesi yöntemlerinin hangi amaçla ve hangi hastalıklarda kullanıldığını literatür araştırması ile ortaya koymaktır. Yapılan literatür araştırması sonucunda, makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak sağlık alanında yapılan çalışmalarda en çok ele alınan konunun erken tanı/teşhis konusu olduğu ortaya çıkmıştır. Uzun süreli tedavi gerektiren ve ölüm riski içeren hastalıklarda, riski azaltmak ve hastanın yaşam süresini uzatmak için erken tanının çok önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle makine öğrenme algoritmalarının erken tanı/teşhis alanında kullanılması ile ilgili yapılan çalışmalar gün geçtikçe artacaktır. Bununla birlikte makine öğrenme algoritmalarının sağlık alanlarında kullanılmaya devam edilmesi ile hem doktorların iş yükleri azaltılacak hem de hastalara daha kaliteli sağlık hizmeti sağlanacaktır.

**Anahtar sözcükler:** makine öğrenmesi, sağlık uygulamaları, teşhis, algoritmalar.

## GİRİŞ

Makine öğrenmesi (yapay öğrenme), eldeki verileri en iyi temsil eden modeli ve parametrelerini bulmak amacıyla geliştirilen algoritmaları içerir. Makine öğrenmesi, çeşitli algoritmalar ve yöntemler ile veride bazı kalıpları arar ve bu kalıplara karşılık gelen etiketlere bakarak önce öğrenir, daha sonra deneyimlerinden yararlanarak çıkarım yapabilen sistemler geliştirmeye imkân sağlar. Bu imkânı, çeşitli matematiksel ve istatistiksel yöntemlerin kullanıldığı birçok algoritma ile sağlamaktadır. Bu yöntem ve algoritmaların bir veya bir kaçı bir arada kullanılarak model(ler) oluşturulur ve bu modellerin bir kısmı tahmin ve kestirim bir kısmı da sınıflandırma için kullanılır.

Makine öğrenmesi yöntemleri yüksek boyutlu ve çeşitli biyomedikal verilerin analizi için sundukları objektif algoritmalar ile hastalıkların teşhisi konusunda yüksek performans göstermektedir. Çok büyük miktardaki verinin elle işlenmesi ve analizinin yapılması mümkün değildir. Bununla birlikte çoğu zaman geçmişteki veriler kullanılarak gelecek için tahminde, çıkarımda bulunmak mümkündür. Bu çıkarımları yapabilmek için makine öğrenmesi yöntemleri kullanılır. Makine öğrenmesinin kullanıldığı sistemler, karar destek sistemleridir. Karar destek sistemleri kullanım alanına bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Sağlık alanındaki uygulamalarda klinik karar destek sistemleri kullanılmaktadır. Sağlık verilerinin karmaşıklığı karşısında geleneksel veri analiz yöntemleri yetersiz kalabilmektedir. Bu sebeple karmaşık yapıların anlaşılması, çözümlenebilmesi için makine öğrenmesi yöntemlerine başvurulur. Sağlık alanı, makine öğrenmesi yöntemlerinin sınırlı kullanıldığı ancak çok önemli kullanım potansiyeli olan alanlardan biridir.

Bu amaçla, bu çalışmada Türkiye'de sağlık alanında makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak yapılan çalışmalar incelenmiştir. İnceleme sonucunda, sağlık alanında hangi konuda daha fazla çalışma bulunduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde oluşturulmuştur: literatür taraması bölümünde Türkiye'de mevcut olan makine öğrenmesi çalışmaları incelenmiş ve çalışmalar yapıldıkları alanlara göre gruplandırılmıştır. Sonuç ve tartışma bölümünde ise literatür incelemesi sonucunda elde edilen bilgiler görselleştirilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

## LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taraması kapsamında; makine öğrenme algoritma çalışmaları aşağıda yer alan başlıklar halinde verilmiştir:

### Kanserler

#### *Meme Kanseri*

Sarikoç vd. (2013), meme kanserinin prognozunda yaygın olarak uygulanan bir yöntem olan östrojen reseptörü (ER) durum değerlendirmesi için bir hastanın tümör örneği üzerinde yapılan testler doktorların öznel kararlarına bağlıdır. Buradan yola çıkarak, çalışmada nesnel bir karar modeli ile hastalığın ER prognozuna ulaşmak için bir makine öğrenme aracının, fonksiyonel ağaçların (FTs) kullanımı tanıtılmıştır. Bu amaçla, her biri invaziv duktal karsinom hastasının biyopsi numunesinden gelen 27 görüntü dosyası taranmış ve ışık mikroskobu ile yakalanmıştır.

Kaya (2013) çalışmasında, meme kanserinin tanısında kaba set (RS) ve aşırı öğrenme makinesi (ELM) yöntemleri kullanılmıştır. Gereksiz öznitelikler, RS yaklaşımıyla veri setinden atılmış ve ELM ile sınıflandırma işlemi, geri kalan özellikler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaliforniya Üniversitesi Irvine makine öğrenme veritabanından türetilen Wisconsin Göğüs Kanseri veri seti (WBCD), önerilen hibrit modeli test etmek için kullanılmış ve RS + ELM modelinin başarı oranı% 100 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada meme kanseri tanısı için en uygun özellikler WBCD'den belirlenmiştir.

İşeri (2014), yapılan araştırmalarda radyologların mikrokireçlenme (MC, Microcalcification) vakalarını tespit etmekte zorlandıklarını ve yüzde yetmişlik bir doğrulukla çalıştıkları vurgulamış ve çalışmasında mamogram görüntüleri üzerinde MC bölgelerinin tespitini yapmak için makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada gri seviye eş oluşum matrisi temelli doku, dalgacık dönüşümü temelli ayrıştırma, iki boyutlu eşit genişlikli ayrıştırma ve çoklu pencere temelli istatistiki analiz kullanılarak farklı özellik çıkartım yöntemleri ile MC desenlerinin karakteristik özellikleri sayısal yöntemlerle analiz edilmiş olup çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı olarak bilinen sınıflandırıcı ve destek vektör

makinesi kullanılarak bir makine öğrenmesi yaklaşımı geliştirilmiştir. Çalışmanın sonunda MATLAB yazılım geliştirme ortamı kullanılarak grafik arayüze sahip BCDS ismi verilen MC temelli meme kanseri teşhis yazılımı geliştirilmiştir.

Takci (2016), meme kanserinde mamografik görüntüleri yorumlamada radyologların yaşadığı görüş ayrılıkları nedeniyle daha güvenilir sonuçlar veren bilgisayar destekli karar verme mekanizmalarına ihtiyaç duyulduğunu ifade etmiştir. Bu amaçla, yapılan çalışmalarda destek vektör makineleri, yapay sinir ağları ve karar ağaçları gibi makine öğrenme yöntemleri kullanan bilgisayar destekli karar verme mekanizmaları geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise, daha önce meme kanseri teşhisinde kullanılmamış olan üç farklı centroid sınıflayıcının kullanımı önerilmektedir. Bu tercihin en önemli nedeni centroid sınıflayıcıların yüksek performanslı sınıflayıcılar olmasıdır. Centroid sınıflayıcılar Wisconsin meme kanseri veri seti üzerinde test edilmiş olup en yüksek sınıflandırma doğruluğunu %99,04 ile Euclidian tabanlı centroid sınıflayıcı vermiştir. Centroid sınıflayıcılar kendi arasında karşılaştırıldıktan sonra diğer makine öğrenmesi yöntemleri ile de karşılaştırılmış ve sonuçlar raporlanmıştır.

Durak (2017) çalışmasında gereksiz biyopsiden kaçınarak meme kanserinin erken teşhisini makine öğrenmesi yöntemleriyle araştırmıştır. Önceki çalışmalarda teşhis için tümör bilgilerini içeren değişkenler kullanılırken yapılan bu çalışmada daha çok kültürel ve fiziksel etkisi olan değişkenlerle çalışılmıştır. Aynı veri seti üzerinde iki farklı uygulama yapılmıştır. İlki veri setinin eğitim ve test seti olarak ayrılarak SPSS.18 Moduler programında yapılmış uygulamadır. İkincisi ise k-kat çapraz doğrulama ile Weka'da yapılan uygulamadır. Kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinden Lojistik Regresyon (%78) ve Naive Bayes (%78) en iyi sonucu vermiştir. Bunlardan sonra sırasıyla Destek Vektör Makineleri (%76), Karar Ağacı C5.0 algoritması (%76), ve Yapay Sinir Ağları (%74) modelleri gelmektedir. 3 kat çapraz doğrulama yapıldığı durumda en iyi sınıflandırma doğrulunu veren yöntemler sırasıyla, Karar Ağacı C5.0 algoritması (%76), Lojistik Regresyon (%73), Destek Vektör Makineleri (%73), Yapay Sinir Ağları (%73) ve Naive Bayes (%73) olarak bulunmuştur.

Taşdemir (2018), görüntü işleme ve makine öğrenmesi yöntemiyle erken meme kanseri teşhisi üzerinde çalışmıştır. Sistemin performansını değerlendirmek için, gerçeklenen sınıflandırıcılar; rastgele orman, lojistik regresyon, k-en yakın komşular (k-NN), naive Bayes, karar ağacı, destek vektör makinesi (SVM), Adaboost, radyal temelli fonksiyon ağı (RBF-NN), çok katmanlı algılayıcı (MLP), konvolüsyonel sinir ağı (CNN) kullanılmıştır.

Sevli (2019), çalışmada her biri 30 adet özellik içeren ve 569 örnekten oluşan Wisconsin Üniversitesi göğüs kanseri veri setini, beş farklı makine öğrenmesi tekniği ile sınıflandırmıştır. Veriler rastgele olarak eğitim ve test setlerine ayrılmıştır. Destek vektör makinesi, Naïve Bayes, rastgele orman, K en yakın komşu ve lojistik regresyon metotları ile gerçekleştirilen eğitim sürecinin ardından confusion matrisleri ve roc eğrileri oluşturulmuştur. Her bir tekniğin başarısı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın sonucunda lojistik regresyonun %98.24 doğruluk ile en başarılı yöntem olduğu ortaya konmuştur.

***Cilt kanseri***

Yıldız (2019) çalışmasında, cilt kanseri türü olan melanom için otomatik tanı koyabilecek bir sistem önerilmektedir. Melanom tanısı için tasarlanan C4Net derin sinir ağ modeli ile beraber literatürde ön plana çıkmış AlexNet, GoogLeNet, ResNet, VGGNet derin öğrenme algoritmaları ve Yapay sinir ağları, En yakın komşu algoritması ve Destek vektör makinesi gibi geleneksel makine öğrenmesi algoritmalarını da kapsayan detaylı bir deneysel çalışma yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda melanom tanısı için tasarlanan C4Net derin sinir ağ modeli diğer yöntemlere göre daha yüksek doğrulukta sınıflandırma başarısı göstermiştir.

***Bağırsak kanseri***

Toraman vd. (2019), kolon kanserinin tespiti için kullanılan yöntemlerden biri olan biyokimyasal değişiklikleri gösterme yeteneğine sahip Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi olduğunu ancak kanser hastalarını FTIR sinyalleri kullanarak sağlıklı bireylerden ayırmak için yapılan çalışmaların en büyük zorluğunun, kanser hastaları ve sağlıklı deneklerin sinyallerinin benzer olması olduğunu ifade etmiştir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için FTIR sinyalinin alan ve yükseklik oranlarının yanı sıra çeşitli istatistiksel özelliklerin önerildiği bir yöntem önermiştir. Kan örnekleri (plazma) 30 kolon kanseri hastası ve 40 sağlıklı kişiden toplanmış ve FTIR ölçümleri yapılmıştır. Her FTIR sinyalinden beş yükseklik oranı, beş alan oranı ve altı istatistiksel özellik içeren toplam 16 özellik elde edildi. 16 özellik, çok katmanlı algılayıcı sinir ağı ve çapraz doğrulama kullanan destek vektör makineleri ile sınıflandırılmış ve performansları karşılaştırılmıştır.

***Diğer Kanser Çalışmaları***

Cüvitoğlu (2017), kanser konusunda daha etkili ilaç ikililerini olası tüm kombinasyonlar içinden tanımlayabilmek için, ilaç uygulanmış gen ifadesi ve biyolojik ağ verilerini kullanan bir sınıflandırma yöntemi geliştirmiştir. Farklı biyolojik verilerden türetilmiş altı öznitelik ile üç farklı makine öğrenmesi yöntemi, Yapay Sinir Ağları (YSA), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Rasgele Orman (RO), eğitilmiştir. Yöntem, içinde hem etkili hem de etkisiz ilaç birleşimlerini bulunduran iki farklı ilaç verisi üzerinde sınanmıştır.

Çakmak (2017), küçük hücreli dışı akciğer kanseri hastalarının radyoterapi verileri kullanılarak makine öğrenmesi yöntemleriyle tümör kontrol olasılığı hesaplanmıştır. Radyoterapiyi etkileyen birçok parametre olması ve hastaların her biri kişisel özellikleri bakımdan birbirinden farklı olması gibi nedenlerden dolayı, tümörün radyoterapiye vereceği yanıt her hasta için farklıdır. Çalışmada, radyasyon onkolojisindeki hasta verilerinin makine öğrenmesi yöntemleriyle sınıflandırılması ve çıkarım yapılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Farabi Hastanesi Radyasyon Onkolojisine 2012-2015 yılları arasında gelen hastaların verileri kullanılmıştır. Bu kapsamda, destek vektör makineleri (DVM) ve yapay sinir ağları (YSA) ile tümörün radyoterapiye verdiği yanıtlar sınıflandırılması ve bunların karşılaştırılması ele alınmıştır. Bu çalışmada 30 hasta verisi kullanılarak DVM ve YSA makine öğrenmesi yöntemleri yardımıyla iki farklı

karar destek sistemi modeli geliştirilmiştir. DVM modeli için %90 duyarlılık, %100 özgüllük değeri elde edilmiş; YSA modeli için % 80 duyarlılık, % 100 özgüllük değeri elde edilmiştir. Bu çalışmada SVM modelinin %90 duyarlılıkla en başarılı sonucu verdiği görülmüştür.

Albayrak (2018), görüntüleme cihazlarının gelişmesi ile birlikte kanser ve ona bağlı hastalıkların görüntülenmesi, takibi ve Bilgisayar Destekli Teşhis (BDT) sistemlerinin de yardımıyla tedavi edilebilmesinin mümkün hale geldiğini vurgulamıştır. Çalışmasında, histopatolojik görüntülerin bölütlenmesi ve sınıflandırılmasını ele almıştır. Süperpiksel bölütleme yöntemlerinden SLIC, SLIC-DBSCAN, ERS ve TPRS algoritmalarının yüksek çözünürlüklü histopatolojik görüntülerde hücresel yapıların bölütlenmesindeki başarım performansları elde edilmeye çalışılmıştır. Histopatolojik görüntülerin sınıflandırılması bölümünde ise hem mitozlu hücrelerin hem de lenf nodlarında yer alan tümörlü bölgelerin özellikle son dönemde oldukça popüler olan evrişimsel sinir ağları yöntemi ile tespiti gerçekleştirilmiştir. Özellikle mitozlu hücrelerin tespitinde geleneksel şekil, renk, doku ve istatistiksel tabanlı özellik çıkarma yöntemleri ile ESA yöntemi karşılaştırılarak performans analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ESA modelinin geleneksel yöntemlerden daha başarılı sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Son olarak, Istanbul Medipol Universitesi Hastanesi, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi işbirliğiyle rahim ağzı kanseri öncü lezyonlarının derecelendirilmesi ile ilgili literatürde yer alan en geniş veri kümelerinden biri oluşturulmuş ve sınıflandırılmıştır. Elde edilen sınıflandırma başarısı iki patolog tarafından oluşturulan referans verilerle karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

## Nörolojik Hastalıklar

### *Parkinson*

Aydın (2017) çalışmasında, Parkinson Hastalığı (PH) verilerine Makine Öğrenmesi algoritmalarını uygulamış ve karar kaynaştırma ve sınıflandırıcı seçimi yöntemlerine dayalı olarak VIBES isminde yeni bir topluluk öğrenme algoritması geliştirmiştir. Önerilen algoritma ve diğer makine öğrenmesi algoritmaları, UCI veritabanından seçilen 33 adet benchmark veri kümesine ve PhysioNet veritabanından elde edilen Parkinson verikümesine uygulanmıştır. Ayrıca, çoğunluk oylamalı topluluk öğrenicilerde oluşturulan topluluğun gerçek hata oranını tahmin etmek için de veri uyarlamalı bir yöntem geliştirilmiştir. Parkinson veri kümesi kullanılarak öznitelik oluşturmak için Fast Fourier Dönüşümü (FFD), Dalgacık dönüşümü (Haar, sym2, coif2, db2, db3, db4, db5, db6, db7, dmey, bio3.3 ve gaus2) ve Hilbert-Huang Dönüşümü (HHD) kullanılmıştır. Bu sinyal dönüşüm yöntemleri içerisinden HHD ile oluşturulmuş öznitelik kümesi üzerinde hem VIBES algoritması hem de diğer Makine Öğrenmesi algoritmaları yüksek doğruluk oranları vermiştir. Sonuç olarak literatürde daha önce yapılan 6 çalışmadan daha yüksek oranda sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir.

Kurt (2018), makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak sesin müzikal öznitelikleri ile Parkinson hastalığının tespiti konusuna yönelmiştir. Parkinson hastalığının ülkemizde ve dünyada Alzheimer hastalığından sonra en yaygın görülen, sinir sistemini etkileyen motor becerileri (yazma, denge, yutkunma, vb.), konuşma zorluğu, ses kısıklığı, düşünme ve davranış fonksiyonların kısmen veya tamamen kaybolmasına neden olan ve gündelik yaşantıyı olumsuz yönde etkileyen nörodejeneratif (sinir sisteminde geri dönüşü olmayan) hastalıklardan biri olduğunu vurgulamış ve konuşma ve ses bozukluklarının, Parkinson hastalığı sürecinin erken teşhisinde başvurulan en belirleyici semptomlar olduğunu ifade etmiştir. Bu amaçla çalışmada sesin müzikal özelliklerinin Parkinson hastalığının teşhisindeki etkisini incelemiştir. Bu doğrultuda, Parkinson hastası ve sağlıklı bireylerden alınan ham ses kayıtlarından sesin ritim, ton, tını, perde ve dinamiklik gibi özellikleri çıkartılarak yapay öğrenme algoritmaları ile hangi özelliklerin hastalığı teşhis etmede daha başarılı olduğu araştırılmıştır.

Gürel (2019), parkinson hastalığının (PD) en önemli semptomlarından birinin, ağız, dil, boğaz, ses tellerinin fiziksel bir bozukluğu nedeniyle konuşmada güçlük çeken konuşma bozukluğu olduğunu vurgulamış ve Vokal kord ölçümlerinden makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak Parkinson hastalığının teşhisi üzerine çalışmıştır. Hastalardan alınan ve sağlıklı gönüllülerden kaydedilen vokal kord işaretlerinin zaman, frekans ve zaman-frekans domenlerinde istatistiksel parametreler yardımıyla özellik vektörleri çıkarılmış ve bu vektörler PD tanısı için makine öğrenmesi (ML) temelli sınıflayıcı modellere girdi olarak uygulanmıştır. Buna ek olarak, PD teşhisine ilişkin ilk kez bu çalışmada kullanılan noktalar-arası eğimi hem zaman hem de frekans domeninde uygulanıp elde edilen yeni işaretin Ki-Karesi ve entropisi hesaplanarak gerçekleştirilen sınıflandırma deneyleri tekrarlandığında özellikle işaretlerin frekans domeninde sınıflayıcı modeller çok daha yüksek TCC oranlarını sağlamıştır. Sonuç olarak, hastaların ses işaretlerine ait frekans alt-bantlarında istatistiksel parametrelerle ve ses işaretlerinin eğimi alınıp Ki-Kare ve entropi uygulandığında elde edilen özellik vektörlerinden ML yöntemleri yardımıyla PD'nin teşhisinin yüksek başarı oranlarında gerçekleştirilmesi mümkün olmuştur.

Badem (2019) çalışmasında, Parkinson hastalığının ses sinyalleri üzerinden sınıflandırılmasında, KYK, ROS, DVM, NB ve KA makine öğrenmesi tekniklerinin başarımının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç için literatüre yeni sunulan yüksek boyutlu öznitelik ve örnekleme sahip PDC veri seti kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, oldukça yüksek doğruluk değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, kullanılan yöntemler istatiksel olarak karşılaştırılmıştır.

**Diğer Nörolojik Hastalıklar**

Kaya ve Tekin (2012) çalışmasında, epileptik EEG işaretlerinin sınıflandırılmasında aşırı öğrenme makinesi (ELM) kullanılmıştır. ELM, tek gizli katmanlı ileri beslemeli

bir yapay sinir ağı modelidir. Ayrık dalgacık dönüşümü ile elde edilen istatistik özellikler ELM ile sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. İki farklı veri kümesi için elde edilen başarı sonuçları %100 (A-D veri seti) ve %100 (A-E veri seti) olarak gözlenmiştir.

Çentik (2013) çalışmasında, Uykuda Periyodik Hareket Bozukluğu (UPHB), Polisomnografi (PSG) kaydındaki bacak Elektromiyografisi (EMG) haricindeki diğer kanallar kullanılarak, dijital sinyal işleme yöntemleri ve makine öğrenmesi yöntemleri ile analiz edilmiştir. Çalışma UPHB hastalığı teşhisi konulmuş farklı yaş ve cinsiyetten 153 bireyin, PSG kayıtları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma ekibi tarafından dijital sinyal işleme ve makine öğrenmesi yöntemlerini kullanan bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım hasta kayıtlarını (PSG) 2, 5, 30 ve 60 saniyelik epok (bölüt) sürelerine parçalayarak analiz etmekte ve elde edilen sonuçları karşılaştırmaktadır. Veritabanında saklanan öznitelikler, farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak UPHB sınıflandırılmıştır.

İsenkul (2016), insan beyninin farklı imge örüntüleri arasındaki farklılık ve benzerliklere nasıl adapte olduğunu araştırmıştır. bu çalışma alanının aradığı cevaplar arasındadır. Görme sisteminde ilk girdinin alındığı Katman 4'e girdi olarak gelen görsel alandaki bilgi, belirli örüntülere duyarlı, RBF ağı gibi doğrusal olmayan bir gösterim sistemine dönüştürülerek komşu alan ve üst katmanlara iletilir. Çalışmada, Katman 4'ün imge gösterim kapasitesinin ölçülmesi ve retinal girdilerin (orijinal resimlerin) filtrelenmesiyle özetlenebilecek beynin talamus yapısı çıktı gösterimlerine göre karşılaştırılabilir performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, bir Katman 4 benzetim modeli (Favorov ve Kursun, 2011) kullanılarak, gösterimin doğal resimlerin uzamsal dönüşümlerine ve hareket izine olan hassasiyeti incelenmiş, kümeleme ve sınıflandırma problemlerindeki Katman-4 gösteriminin başarımları analiz edilmiştir.

Şeker (2017) çalışmasında, iyi – kötü koku verilerine ilişkin, beynin elektriksel aktivitesini inceleyebilmek için kullanılan elektro-fizyolojik yöntemlerden biri olan Elektroensefalogram (EEG) işaretlerinin analizi ve sınıflandırılması yapılmıştır. Sınıflandırıcı olarak WEKA veri madenciliği programına ait çok katmanlı algılayıcılar, k-en yakın komşuluk, naive bayes ve rastegele orman algoritmaları kullanılmıştır. Diferansiyel gelişim algoritması ile kanal seçimi yapılıp sınıflandırma işlemleri tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tüm kanalların ve seçilen 5 kanalın kullanıldığı aşamada, sınıflandırma sonuçlarına bakıldığında en iyi algoritma RO algoritması çıkmış ve başarım oranları sırasıyla %99.19 ve %97.58 elde edilmiştir.

Uçar (2017) çalışmasında, uykuda solunumun durmasına bağlı olarak ortaya çıkan Obstrüktif Uyku Apne (OSA) hastalığının teşhisinde kullanılan ancak teşhis sırasında hastaya birçok rahatsızlık veren polisomnografi (PSG) cihazına alternatif yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım ile PSG'ye alternatif, hastaya daha az rahatsızlık veren ve PSG kadar güvenilir bir cihazın oluşturulabileceği ispatlanmıştır. Çalışmada, 10 bireyden alınan Fotopletismografi (PPG) sinyali kullanılmıştır. Teşhis için PPG sinyali ve bu sinyalden türetilen Kalp Hızı Değişkeni (HRV) kullanılarak yapay zeka tabanlı teşhis algoritması tasarlanmıştır. Çalışma için PPG'den 46, HRV'den 40 adet olmak üzere toplam 86 özellik çıkarılmıştır. Çıkarılan özellikler, F-score özellik seçme

yöntemleriyle 2 defa azaltılmış ve sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarına göre uyku evreleme 11 özellik ile, %84,93 duyarlılık, %97,40 özgüllük ve %91,09 sınıflandırma doğruluk oranı ile topluluk sınıflandırıcısı yardımıyla başarı ile sınıflandırılmıştır. Solunum skorlama işlemi, 86 özellik ile, %87,78 duyarlılık, %95,46 özgüllük ve %92,54 doğruluk oranı ile başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Işık (2017), motor hareket hayali özelinde sinyal özellikleri, bu sinyallerin beyinde salındığı yerler ve oluşumu esnasında görülen olaya ilişkin senkronizasyon (ERS) ve olaya ilişkin desenkronizasyon (ERD) konularını ele almıştır. Makine öğrenmesi yöntemleri (Doğrusal Ayırtaç Analizi (LDA), Karar Destek Makinaları (SVM) ve K En Yakın Komşuluk (KNN)) ile motor hareket hayali tabanlı mobil beyin bilgisayar arayüzü tasarımı yapmıştır.

Demirhan (2018), otizm spektrum bozukluğu (OSB) hastalığının teşhisi için klinik yöntemlerin yanında teşhis süresini kısaltmak ve başarımı artırmak için makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanımının önemli olduğunu ifade etmiştir ve çalışmasında OSB ergen tarama verileri kullanılarak destek vektör makineleri (DVM), k-en yakın komşu (kNN) ve rastgele orman (RO) makine öğrenmesi yöntemleriyle OSB durumunun hızlı ve doğru olarak teşhis edilmesine yönelik analizler yapmış ve bu yöntemlerin performansları karşılaştırmıştır. DVM, kNN ve RO yöntemleri kullanılarak 10-kat çapraz doğrulama ile yapılan ikili sınıflandırma işlemi sonucunda sırasıyla %95, %89 ve %100 doğruluk oranlarına erişilmiştir. Ayrıca, RO yöntemi ile yapılan sınıflamadan % 100 duyarlılık ve belirlilik değerleri elde edilmiştir.

Başçıl (2019) çalışması, SAM32RFO Elektroensefalografi (EEG) cihazı ve 10/20 sistemine sahip EEG kepi kullanılarak, 10 katılımcıdan belli bir düzen içerisinde kayıtlanmış olan EEG üzerinde ortaya çıkan beyin sinyallerinin çene hareketleri ile ilişkisinin değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma 03/09/2018-03/10/2018 tarihleri arasında ilgili üniversitenin Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde, 10 katılımcıdan (3 kadın, 7 erkek) EEG sinyallerinin kayıtlanarak bilgisayar ortamına aktarılması ile tamamlanmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde, standart sapma değişimlerinden faydalanılarak olasılıksal sinir ağı modeli (PNN) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar yüzde olarak sunulmuştur. 21-35 yaş aralığındaki sağlıklı katılımcıların, her bir döngüsü 10 saniye süren ve bu süre boyunca (dudaklar kapalı, diş gıcırdatma ve vücut hareketi olmaksızın) yaklaşık 20 kez sağa ya da 20 kez sola doğru çene hareketleri yapabildiği görülmüştür. Çıkarılan tüm özelliklerin bilgisayar ortamındaki makine öğrenme algoritmaları yardımıyla incelenmesi sonucunda, sağ ve sol çene hareketleri sırasında beyinde oluşan iki farklı EEG sinyalinin, birbirlerinden %90,14 oranında farklı olarak belirlenebildiği bulunmuş ve beyin haritalama üzerindeki çıkarımlarda bu oranı desteklemiştir. Çenenin sağa veya sola hareketi ile oksipital, frontal ve temporal loblarda delta dalgalarına rastlanmıştır.

**Dolaşım ve Solunum Sistemi Hastalıkları**

***Akciğer***

Aykanat (2018), çalışmasında, 1.630 denekten elektronik stetoskop ile kaydedilen 17.930 ses ve metin verisinden oluşan bir veri kümesinde, konvolüsyonel sinir ağları (CNN), destek vektör makineleri (SVM), k en yakın komşuluk (k-NN) ve Gaussian Bayes (GB) algoritmaları kullanarak, solunum seslerinin ve akciğer hastalıklarının sınıflandırılmasını amaçlamıştır. Geleneksel ve elektronik stetoskobu karşılaştırmak için 3 uzman doktor, 100 sesi değerlendirmiştir.

Örenç (2019), Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH)'nda kullanılan mevcut spirometre ve polisomnografi (PSG) cihazının bireylere bazı zorluklar yaşattığını belirtmiş ve bireye daha az sıkıntı oluşturan ve bu cihaz kadar verimli bir şekilde çalışabilen bir sistem geliştirmiştir. Bu durumdan dolayı fotopletismografi sinyali kullanılarak zaman ekseninde 26 adet özellik çıkartılmıştır. Makine öğrenmesi modelleri olan k – En Yakın Komşu Algoritması, Olasılıksal Yapar Sinir Ağları ve Destek Vektör Makine olmak üzere toplamda 3 adet sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Ayrıca 8 KOAH'lı hasta ve 6 kişilik sağlıklı bireye ait veriler kullanılmıştır. Sınıflandırma algoritma performanslarını değerlendirebilmek için doğrululuk oranı, özgüllük, duyarlılık ve F-ölçümü gibi parametreler kullanılmıştır. Her 3 makine öğrenmesi modelinde de elde edilen sonuçlar en az doğruluk oranı %80 olup bazı algoritmalara göre tüm verilerin doğruluk oranı %100 doğru sınıflandırılmış, duyarlılık 1, özgüllük 1 ve F-ölçümü 1 olarak tespit edilmiştir.

***Kalp***

Toprak (2004) çalışmasında, makine öğrenmesi yoluyla tıp alanında cerrahi müdahelelerde kalp krizi riskinin (kardiyak risk) tespit edilmesi konusunda hekimlerin karar vermesinde onlara yardımcı olmak ve de onlar olmadan kendi başına öğrenebilen ve karar verebilen bir sistemin tasarlanması amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için genetik algoritma ve yapay sinir ağı tekniklerinden yararlanılmıştır.

Aydın (2011) çalışmasında, aritmi hastalarının tedavi süreçlerine yardımcı olmak amacıyla öğrenmeye dayalı bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem, lokasyondan bağımsız olarak hastanın bazı metabolik parametrelerini alarak bu verileri uzak bir sunucu üzerindeki veritabanında depolamaktadır. Depolanan bu veriler bir uzman tarafından etiketlendikten sonra veri ambarına aktarılmaktadır. Veri ambarındaki bu veriler daha sonra makine öğrenmesi sınıflandırıcısı tarafından eğitim verileri olarak kullanılmaktadır. Geliştirilen Sistemde, makine öğrenmesi algoritması olarak k en yakın komşuluk (kNN) algoritması kullanılmıştır. kNN algoritmasının seçilme sebebi düşük bias'a sahip nonlineer bir fonksiyon olmasındandır. Bu nedenle yapılan tahminlerde yüksek oranda doğruluk sağlanmaktadır.

Oktay (2011) çalışmasında, çeşitli tıbbi imgeler için nesne saptama ve kontur bulma işlemlerini farklı önsel bilgilerin eklenmesi ile gerçekleştiren makine öğrenmesi tabanlı yöntemler sunulmuştur. Geliştirilen ilk yöntem, global şekil ve imge bilgisi ile ekokardiyogramlardan ve kalp MR imgelerinden iç ve dış sol karıncık konturlarını bulmaktadır. Geliştirilen diğer bir yöntem ise kalp duvarının hareketi, görünüş ve

uzaklık gibi çeşitli lokal önsel bilgilerle, sol karıncığın geometrik şeklini birleştirerek ekokardiyogramlardan kontur bulmaktadır. Bir başka yöntem de, bel omurga MR imgelerinden lomber omurlar arasındaki disklerin konumlandırılması için geliştirilmiştir. Bu yöntem, disklerin lokal özellikleri ile lomber eğrinin global şeklini birleştirmektedir. Son olarak, MR kalp imgelerinden sol karıncığın yeri bulunmuş ve kalp duvarlarını gösteren skor imgeleri oluşturulmuştur. Geliştirilen yöntemlerin etkinliği, gerçek tıbbi imgeler ve sentetik imgeler kullanılarak gösterilmiştir.

Kocamaz (2012), tıp bilişimi alanında tele tıp uygulamaları ile hastaların tıbbi görüntüleri ve laboratuvar analizleri gibi anlık olmayan verilerin dijital olarak saklanabildiği gibi uzak mesafelere de gönderildiğini ifade etmiştir. Çalışmasında ise, bir kişiden alınan çeşitli yaşamsal veri ve parametrelerin GPRS teknolojisi aracılığı ile sunucuya gönderilmesi ve gönderilen verinin makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak değerlendirilmesi ile uzman bir sistem tasarımı gerçekleştirilmesini hedeflemiştir. Tasarlanan sistem iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım veri toplama ve iletim cihazıdır. Bu cihazın amacı verileri bir sensör, dönüştürücü ile veya sensör modülleri ile elde edilen analog verileri elektronik filtre işleminden geçirilmesi, bu verilerin dijital forma dönüştürülmesi, sunucuya belirli bir formatta, güvenli, veri kaybına izin vermeyecek veri transfer oranı ile iletilmesini sağlamaktır. Böylece kişi her an gözlem altında tutulabilecektir. Kişinin izlenmesi için klinik ortamda olması gerekmeyecektir. İkinci kısımda ise gelen veri ve parametreler sunucu tarafında veri tabanına kaydedilir ve kaydedilen veriler makine öğrenmesi algoritmaları ile sınıflandırılır. Kişinin durumunun kritik veya normal şeklinde sınıflandırılması ile kişiye hızlı müdahale imkânı sağlanmış olacaktır.
Kalbin korunması için nabız, kandaki oksijen saturasyonu, sinyal kalitesi, sinyal genliği gibi parametrik değerler ve pletismogram işaretlerinin izlenmesi konusunda uygulama yapılmıştır. Örnek çalışmanın kalp pletismogram veri ve parametreleri üzerinde gösterilmesinin nedeni; kalbin korunması için bu parametrelerinin sürekli izlenmesi ve kaydedilmesinin önem arz etmesidir.

Kartal (2015), kalp ameliyatı sırasında ya da kalp ameliyatı geçirdikten kısa bir süre sonra hastaya ait hayati riskin sınıflandırmaya dayalı makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışmada kullanılan veri seti Acıbadem Maslak Hastanesi'nden temin edilmiştir. Naive Bayes Sınıflandırıcı, k-En Yakın Komşu Algoritması, Logistik Regresyon Analizi, ID3 ve C4.5 Karar Ağacı Algoritmaları kullanılarak farklı modeller oluşturulmuştur. Modellerin performansları karşılaştırılmıştır. Veri analizleri R dilinde yazılan kodlarla gerçekleştirilmiştir.

Kaya (2017) Erken karıncık kasılması (EKK)'nın ektopik kalp vuruları ile ortaya çıkan en yaygın kardiyak aritmilerinden biri olduğunu ifade etmiş ve aritmilerin algılanması kalple ilgili olabilecek problemlerin önceden tahmininde önemli rol oynadığını vurgulayarak çalışmasında, ilk olarak işarete ait zaman serilerini kullanarak EKK

vurusunun sınıflandırılmasını gerçekleştirmiştir. Bu aritmilerin sınıflandırılması için bir vuruluk işarete ait yeni öznitelikler çıkarılmıştır. Öznitelikler, boyut indirgeme algoritmaları kullanılarak daha küçük boyutlara düşürülmüştür. Deneyler, k-en yakın komşu algoritması, yapay sinir ağları, karar ağaçları ve destek vektör makinesi sınıflandırıcıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulgular, doğruluk, duyarlılık, kesinlik, özgünlük ve çalışma süreleri bakımından değerlendirilmiştir. Çalışmada yapılan testlerde kullanılan veriler bu alanda standart hale gelmiş olan MIT-BIH aritmi veri tabanından alınmıştır.

Cihan (2018), Kardiyovasküler hastalıklar içerisinde ölümcül sonuçları olan en yaygın klinik tipin koroner arter hastalığı olduğunu vurgulamış ve Kaliforniya Üniversitesi, Irvine (UCI) veri kümesi koleksiyonundan alınan Cleveland, Macaristan, İsviçre ve VA Long Beach kalp hastalığı veri kümeleri üzerinde Rastgele Orman Algoritması kullanarak koroner arter hastalığı riski analizi yapmıştır. Veri analizi aşamasında, belirtilen tüm veri kümeleri incelenmiştir. Ancak, sınıflama modeli daha az eksik veri içermeleri ve dengeli bir dağılıma sahip olmaları nedeniyle Cleveland ve Macaristan veri kümeleri üzerinde kurulmuştur. Veri analizi, kardiyoloji alanında uzman bir hekimin rehberliğinde grafiksel ve istatistiksel yöntemlerle yapılmıştır. Uygulanan sınıflama modeli sonucunda, Cleveland veri kümesi üzerinde %86,13 doğruluk oranı ve Macaristan ve Cleveland veri kümelerinin birleştirilmesi ile elde edilen 596 hasta kaydından oluşan veri kümesi üzerinde ise %80 doğruluk oranı elde edilmiştir. Ayrıca, modelin uygulandığı her iki veri kümesinde de göğüs ağrısı tipi ve egzersizle tetiklenen ST depresyonu sınıflama açısından en önemli iki değişen olarak saptanmıştır.

Takci (2018) çalışmasında, kalp krizi geçirmeyi öngören en iyi makine öğrenme yöntemi ve en iyi özellik seçim algoritmasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Statlog (Heart) veri setinde optimum parametrelere sahip birçok makine öğrenme yöntemi ve çeşitli özellik seçim yöntemleri kullanılmıştır ve değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, en iyi makine öğrenme algoritması doğrusal çekirdekli destek vektörlü makine algoritmasıdır, en iyi özellik seçim algoritması ise reliefF metodudur. Bu çift en yüksek% 84.81 doğruluk değerini vermiştir.

Kodal vd. (2018) çalışmasında, elektrokardiyogram (EKG) sinyallerindeki zemin gezinme gürültüsünün giderilmesi ve yüksek frekanslı gürültünün temizlenmesi amacıyla dalgacık analizi kullanılmıştır. Gürültüsü temizlenen sinyalde QRS zirvelerini belirlemek için Destek Vektör Makineleri ve Naive Bayes algoritmaları kullanılmıştır. QRS zirvelerinin bulunmasında, MIT-BIH aritmi veri tabanında verilen QRS zirvelerinin konum bilgileri kullanılmıştır. QRS zirvelerini doğru belirlemede Destek Vektör Makineleri algoritması Naive Bayes algoritmasından daha yavaş sonuç vermesine rağmen %99.46 duyarlılık, %100 seçicilik ve %0.54 hata değerlerine ulaşmıştır.

**Göğüs hastalıkları**

Yahyaoui (2017) çalışmasında, göğüs hastalıklarını teşhis etmek için destek vektör makinaları (SVM), K-en yakın komşular (K-NN) ve Basit Bayes sınıflandırma (NB) metotları kullanılmıştır. Ayrıca, ilk kez uyarlamalı destek vektör makina metodunun (ASVM) göğüs hastalıkları teşhisindeki performansı da değerlendirilmiştir. Bu metot, SVM tekniğinin en uygun eşik değerini bulacak şekilde geliştirilmesine dayanmaktadır. Kullanılan bu yaklaşımlar Diyarbakır Göğüs Hastalıkları Hastanesi'nden alınan deneysel veri seti kullanılarak ve daha önceki çalışmalarda kullanılan sinir ağları yöntemleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, kullanılan metotların, özellikle de ASVM metodunun başarım etkisinin yüksek olduğunu göstermiştir.

**Kan basıncı**

Ertuğrul ve Sezgin (2018), Arteriyel kan basıncı (ABP)'yi elektrokardiyogram (ECG) ve fotopletismograf (PPG) sinyallerinden aşırı bir öğrenme makinesi (ELM) ve zaman-frekans alanındaki ECG ve / veya PPG sinyallerinin istatistiksel özellikleri ile tahmin etmek için basit ve etkili bir yaklaşım önermiştir. Önerilen yaklaşımı değerlendirmek ve uygulamak için, UCI tarafından yayınlanan ve paylaşılan Kolsuz Kan Basıncı Tahmin Veri Seti kullanılmıştır. ELM ve bazı popüler makine öğrenme yöntemleri ile her konu için kelepçesiz ABP'yi tahmin etmek için çıkarılan özellikler kullanılmıştır.

**Böbrek Hastalıkları**

Saçlı (2018), böbrek taşı türünün belirlenmesinde mevcut metotlara mikrodalga frekansında elektromanyetik dalgalardan faydalanan yeni bir alternatif geliştirmeyi amaçlamıştır. Böbrek taşlarının elektromanyetik özelliklerinin sınıflandırılması ise makine öğrenmesi algoritmaları (Artificial Neural Network and K-Nearest Neighbourhod) ile yapılmıştır.

Erdursun (2019), çalışmasında Kronik Böbrek Hastalığı(KBH) veri seti üzerinde analiz yapılmıştır. Çorum Hitit Üniversitesi Erol Olçok Eğitim ve Araştırma Hastanesinde 216 hastadan elde edilen veriler kullanılmıştır. Veriler üzerinde makine öğrenmesi yöntemleri uygulanmış ve hastalık sınıflandırılması yapılmıştır. Uzman görüşü alınarak, hastalara tanı koymak için kullanılan bazı değişkenler veri kümesinden çıkarılarak geriye kalan değişkenlerle analiz yapılmıştır.

**Diyabet Hastalığı**

Bozkurt vd. (2014) çalışmasında, Pima Indian Diabetes veri seti 8 farklı sınıflandırıcı ile sınıflandırılmıştır. Veriler California Üniversitesi Irvine Machine Learning Repository'nin web sitesinden alınmıştır. Bir sınıflandırıcı olarak, 6 farklı sinir ağı [olasılıksal sinir ağı (PNN), öğrenme vektör nicelemesi, ileriye dönük ağlar, ileriye dönük ağlar, dağıtılmış zaman gecikmeli ağlar (DTDN) ve zaman gecikmeli ağlar], yapay bağışıklık sistemi ve Gini karar ağaçlarından algoritma kullanılmıştır. Sınıflandırıcının performans oranları doğruluk, duyarlılık ve özgüllük olarak ayrı ayrı

incelenmiştir ve tüm sınıflandırıcıların başarı oranları sunulmaktadır. Bu 8 sınıflandırıcı arasında en iyi doğruluk ve özgüllük değerleri DTDN ile elde edilmiştir.

Akyol vd. (2016), şeker hastalığına bağlı olarak retinada ortaya çıkan hasarlanmaların sonucu körlüğe neden olan bir hastalık olan Diyabetik retinopatinin, erken evre (nonproliferatif) ve ileri evre (proliferative) olmak üzere iki aşaması olduğunu belirtmiştir. Görme kaybının önüne geçilebilmesi için erken evre DR bulgularının erken tanı ve teşhisi gerektiğinden dolayı bu çalışmada, erken evre DR lezyonlarından olan sert eksuda bölgelerinin otomatik olarak tespitinde kullanılmak üzere bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem, anahtar nokta çıkarımı, özellik çıkarımı, görsel sözlük ve sınıflandırma aşamalarını içermektedir. Sistem performansı, publik (herkese açık) DIARETDB1 retinal görüntü dataseti üzerinde test edilmiştir. Deneysel sonuçların elde edilmesinde, Yapay Sinir Ağları, Rastgele Orman ve Karar Ağacı algoritmaları kullanılmıştır.

Adem (2017) çalışmasında, oftalmologların teşhis işlerini kolaylaştırma ve zaman kaybının önlenmesi için diyabetik retinopati hastalığının otomatik teşhisi ve sınıflandırılmasına odaklanılmıştır. Bu amaç için, retina görüntülerindeki anatomik yapılar olan optik disk ve damar bölgelerinin tespit edilerek görüntüden göz ardı edilmesi sağlanmıştır. Optik disk tespiti için sırasıyla HSV renk uzayı, adaptif histogram eşitleme, Gama dönüşümü, Canny kenar bulma algoritması ve çembersel Hough dönüşümü, damar bölütlemesi için ise sırasıyla RGB renk uzayı, adaptif histogram eşitleme, Gabor ve Top-hat dönüşümü yöntemleri uygulanmıştır. Anatomik bölgelerin tespit edilerek retina görüntüsünden göz ardı edilmesinden sonra eksuda ve hemoraji lezyonlarının tespit edilmesi için manüel eşikleme ve ateşböceği / parçacık sürü optimizasyonu temelli iteratif eşikleme yöntemleri kullanılmıştır. Eşikleme yöntemleri sonucu eksudalı toplam piksel sayısı, eksudalı bölge sayısı, hemorajili toplam piksel sayısı ve hemorajili bölge sayısından oluşan öznitelik veri seti doğrusal regresyon, çok katmanlı algılayıcı, çapsal tabanlı fonksiyon sinir ağı ve destek vektör makinesi temelli sınıflayıcılara giriş olarak kullanılarak diyabetik retinopati teşhisi ve sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma doğruluğu açısından sınıflayıcı performanslarını değerlendirmek için farklı kombinasyonlar kullanılarak farklı deneyler yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler parçacık sürü optimizasyonu temelli destek vektör makinesi yaklaşımın ateşböceği temelli olan yaklaşımlardan daha yüksek toplam doğru sınıflandırma başarı oranlarına ulaştığını göstermiştir. Sonuç olarak, hasta yoğunluğundan dolayı yaşanabilecek muhtemel karışıklıkların önüne geçerek oftalmologlara ön-tanı imkânı veren teşhis destek sisteminin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Oğuztürk (2018) çalışmasında, Türkiye'deki diyabetli ve diyabetik olmayan hastaların sağlık profillerini veri seti olarak kullanmış, hastaların 10 farklı özelliğini giriş değişkeni olarak seçmiş ve deneklerin diyabetik durumunu 7 farklı makine öğrenmesi algoritması kullanarak tahmin etmiştir. Çalışmada toplam 2657 adet denekten 1860 adedi algoritmanın eğitimi için kullanılmış olup, kalan 797 veri adedi ise algoritmanın test edilmesi için ayrılmıştır. Diyabet tahmin modelinin geliştirilebilmesi için açık

kaynak kodlu Orange programı kullanılmıştır. Algoritmanın doğruluğunu optimize edebilmek için farklı kombinasyonlar, gizli düğüm sayısı ve beklenti maksimizasyonu (EM) iterasyonları uygulanmıştır. Yapay sinir ağı algoritmasının, %97.2'lik doğru tahmin başarısıyla en iyi başarıyı elde ettiği tespit edilmiştir. İkinci ve üçüncü en iyi başarı ise %96.9 ve %96'lık doğru tahmin başarı oranlarıyla lojistik regresyon ve random forest ile elde edilmiştir.

Özkaya (2018), aida simülatörü üzerinde kan şekeri tahmini için makine öğrenmesi algoritmalarının kıyaslanmasını ele almıştır. Tahminler, destekçi vektör makinesi, karar ağacı, Gauss süreci, K-en yakın komşu, rastgele orman ve sinir ağları bulanık ve tekrarlayan yapay sinir ağları algoritmalarıyla gerçekleştirilmiş.

**Bel Bölgesi Hastalıkları**

Ünal (2015) çalışmasında, radyolog, uzman ve doktorların bel bölgesi rahatsızlıklarının teşhisine yardımcı olması amacıyla bir bilgisayar destekli teşhis (BDT) sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem ile bel bölgesi rahatsızlıklarından bel fıtığı, dejeneratif disk, omur kayması (spondilolysthesis), lomber spinal stenoz, rahatsızlıkları teşhis edilmektedir. Çalışmada kullanılan bel bölgesi axial ve sagittal MR görüntüleri Selçuk Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Radyoloji bölümünden alınmıştır. Ayrıca, California Üniversitesi Uluslararası Irvine Makine Öğrenme Veritabanından (UCI) alınan bel bölgesine ait vertebral veri kümesi de ayrı bir özellik vektörü olarak sınıflandırma aşamasında kullanılmıştır. Elde edilen veri kümelerinin sınıflandırılması işlemi için Destek Vektörü Makineleri (DVM), Çok Katmanlı Perseptron (MLP), LVQ sinir ağları (LVQ-NN), Radyal Tabanlı Fonksiyon Sinir Ağları (RTFA), k-en yakın komşu (K-NN) sınıflandırma algoritmaları uygulanmıştır.

Tümer (2018), makine öğrenmesi algoritmaları için kullanılan WEKA ile anlık gelen veri işleme için kullanılan Siddhi aracını birleştirerek bir akıllı sistem geliştirilmiştir. Çalışma verisi olarak sağlık alanından bel fıtığı (Hernia) ve bel kayması (Spondylolisthesis) teşhisinde kullanılabilecek Nesnelerin İnterneti verileri seçilmiştir. Sistem, WEKA kütüphanesini kullanarak Destek Vektör Makineleri, J48 Karar Ağacı, Yapay Sinir Ağları, Naif Bayes, Rastgele Orman, jRip, kYıldız ve Basit Lojistik makine öğrenmesi algoritmalarını başarı ve performans üzerinden karşılaştırılmıştır.

**Göz Hastalıkları**

Hacıefendioğlu (2012), genellikle göz içi sıvısının göz kanallarından boşalamadığı durumlarda ortaya çıkar ve göz içindeki basıncın(GİB) artması ile göz arkasındaki sinirlerin bu basınçtan ötürü zarar görmesi şeklinde gelişen Glokom hastalığının körlüğe kadar götüren bir hastalık olduğunu ifade etmiştir. Bu amaçla, hastalığın göz sinirleri hasar görmeden önce teşhis edilebilmesi için Pamukkale Üniversitesi Göz Hastalıkları Anabilim Dalından alınan hasta bilgiler ve makine öğrenmesi sınıflandırma yöntemlerinden Destek Vektör Makineleri, Yapay Sinir Ağları ve Karar Ağaçları kullanılarak glokom hastalığı başlangıç safhasında teşhisi için sınıflandırma

yapılmış ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Adı geçen makine öğrenmesi yönetmelerinin performansları X-Validation ile belirlenmiş ve en yüksek sınıflandırma başarısının Destek Vektör Makineleri ile elde edileceği görülmüştür.

Açıl (2019), çalışmasında iris yapısını kullanarak cinsiyet tahmini yapmıştır. 750 kadın ve 750 erkek olmak üzere her kişinin sağ ve sol iris görüntüleri kullanılarak toplamda 3000 görüntü üzerinde uygulama gerçekleştirilmiştir. İris görüntülerine öznitelik çıkarma yöntemi olarak doku analiz yöntemleri, gemoterik features çıkartma, gabor filtresi, dalgacık dönüşüm, fourier dönüşümü uygulanmıştır. Her bir öznitelik çıkartma yöntemiyle öznitelik kümleri oluşturulmuş ve sınıflandırma başarım değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, %91 başarım oranı ile en iyi öznitelik alt kümesi non-liner dönüşüm yapılmış özniteliklerden elde edilmiştir.

**Kadın ve çocuk hastalıkları**

Yılmaz (2016), kardiotogram verisinden fetal iyilik halinin belirlenmesi için bir karar destek sistemi önermiştir. Sistem En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri ve Temel Bileşen Analizi üzerinde temellendirilmiştir. Temel Bileşen Analizi yöntemi ile kardiotokogram veri kümesinin boyutu indirgenmiştir. Özellik boyutu indirgenen veri kümesi üzerinde En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen karar destek sisteminin başarımı UCI Makine Öğrenmesi Ambarlarından alınan kardiotokogram veri kümesi üzerinde 10-katlı Çapraz Doğrulama tekniği kullanılarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar önerilen sistemin %98,74 sınıflandırma doğruluğuna, %98,86 duyarlılık oranına ve %98,73 özgüllük oranına sahip olduğunu göstermiştir.

Cömert (2017), fetal sağlık durumunun belirlenmesi amacıyla gebelik dönemi ve doğum sırasında yaygın şekilde kullanılan bir gözetim tekniği olan Kardiyotokografi (KTG)'nin düşük pozitif tahmin değeri, yüksek yanıltıcılık oranı, yorumlanmadaki öznellik, yeniden üretilebilirlik değerindeki tutarsızlık ve yüksek seviyede gözlem içi ve gözlemciler arası anlaşmazlık seviyesi gibi çeşitli problemlere sahip olduğunu ifade etmiştir. Bu problemlerin üstesinden gelmek üzere bilgisayar destekli KTG analizi ile KTG işaretlerini morfolojik, doğrusal, doğrusal olmayan, frekans ve zaman-frekans alanlarında analiz edilmesini sağlayan bir yazılım geliştirilmiştir. KTG işaretlerinin normal ve hipoksik olarak sınıflandırılmasını sağlamak üzere yapay sinir ağı, aşırı öğrenme makinesi, destek vektör makinesi, radyal tabanlı fonksiyon ağı gibi çeşitli makine öğrenmesi tekniklerinin kullanılması sağlanmıştır.

Bulut (2017), çocuklarda obeziteye yakalanma riskini hesaplayan bir erken uyarı sisteminin geliştirilmesini amaçlamıştır. Makine öğrenmesi kolektif öğrenme algoritmaları kullanılarak yapay ve özgün bir klinik karar destek sistemi (KKDS) geliştirilmiştir. Obeziteye neden olan faktörler hazırlanan anket içerisine yerleştirmiştir. Devlet hastanelerinden ve okullarından alınan resmi izinlerle anketler çocuklara uygulanmış ve elde edilen verilerle güvenilir bir eğitim seti oluşturulmuştur. k En Yakın Komşuluk algoritmasının geliştirilmiş versiyonları Oylama, Bagging, Boosting ve Rastsal Altuzaylar yöntemlerinde tekil öğrenici olarak kullanılmıştır. Eğitim seti üzerinde yapılan öğrenme ve çapraz geçerleme işlemlerinde algoritmalara ait yüksek doğruluk oranları elde edilmiş ve en başarılı yöntemin

0,839'lık MCC (Matthews Correlation Coefficient) değeriyle Rastsal Altuzaylar olduğu görülmüştür.

Göker ve Tekedere (2019), çocukluk çağı dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğunun öngörülmesine yönelik çocuk psikiyatristlerinin alan uzmanlığı doğrultusunda tanı çıkarımı yapabilen bir dinamik uzman sistem tasarımı geliştirmiştir. Çalışmanın konusu gereksinim analizi yapılarak çocukluk çağının en sık görülen psikiyatrik bozukluklarından olan dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğu olarak seçilmiştir. Nitelikler alan uzmanları (çocuk psikiyatristleri) tarafından belirlenirken, kayıtlar Gazi Hastanesi Çocuk Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalından alınan kliniksel hasta verilerinden oluşmaktadır. Geliştirilen sistemin çıkarım mekanizması kısmında Naive Bayes algoritması kullanılarak, kural tabanının dinamik olarak yenilenmesinin sağlanması çalışmanın en önemli ayırt edici özelliğidir. Bu sayede sistem, daha önceden kayıtlı olmayan yeni bir durum ile karşılaştığında; mevcut kurallardan faydalanarak yeni kuralın hangi sınıfa ait olduğunu tahmin edebilmektedir. Gerçek veriler ile sistem eğitilmiş ve performansı test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, accuracy 88.62%, precision 89.2%, recall 88.6%, f-measure 88.6% ve ROC area değeri 89.8 % bulunmuştur.

**Genetik Çalışmalar**

Yengi ve İlhan Omurca (2016), gen dizilimlerinin sınıflandırılmasının, hastalıkların ön görülebilmesi veya teşhis edilebilmesinde çok önemli rol oynadığını ancak bütün gen dizilimi üzerinde sağlıklı bir sınıflandırma yapılabilmesi için gerekli bilgiyi içeren genlerin (özelliklerin) özellik azaltma algoritmaları ile ayıklanması gerektiğini ifade etmiştir. Çalışmada, özellikleri azaltmak için sezgisel arama teknikleri, özellik azaltma yaklaşımları (filter, wrapper, vb.) gibi farklı yöntemler analiz edilerek ön işleme adımının daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi; bunun sonucunda elde edilen veri kümelerinin LR (Lojistik Regresyon) ve SVM (Destek Vektör Makineleri) gibi güçlü sınıflandırma araçları ile daha etkin şekilde sınıflandırılması hedeflenmiştir.

Pashei (2017), DNA dizileri miktarında ki olağanüstü artış nedeniyle, genlerin doğru tespit edilmesi için geliştirilen yöntemlerin başarısının, uçbirleştirme bölgelerinin kesin olarak tanımlanmasına bağlı olduğunu belirtmiştir. Uçbirleştirme yeri tespiti için çok sayıda makine öğrenmesi yöntemi kullanmıştır. Çalışmasında, uçbirleştirme tespitinde Markov kodlama yöntemleri kullanan RF'nin, en başarılı sınıflandırma yaklaşımı olan SVM'den üstün olup olmadığını araştırmıştır. Ayrıca uçbirleştirme yeri tespiti için SVM ve ikinci dereceden Markov modelini kullanan başka bir DNA kodlama yöntemi önermiştir.

Turgut (2017) çalışmasında, meme kanseri ile alakalı mikrodizi verileri kullanılarak makine öğrenmesi yöntemleriyle sınıflandırma yapılmıştır. Bu veriler 122'si hasta 11'i sağlıklı olan toplam 133 bireye ait 1919 protein çeşidi bilgisinin bulunduğu 1. veri ve 46'sı hastalığın tekrarladığı 51'i tekrarlamadığı toplam 97 bireye 24481 protein çeşidinin bilgisinin bulunduğu 2. veridir. Uygulamalar Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulanan makine öğrenmesi algoritmaları DVM, YSA, K-EYK, Karar Ağaçları, Rastgele Orman, Lojistik Regresyon, Adaboost ve Gradyan Boosting Makinesi'dir. İlk veri için, herhangi bir öznitelik indirgeme metodu

uygulanmadan önce %99.23 ile lojistik regresyon yöntemi, ikinci veri için rastgele orman yöntemi %67.42 ile en yüksek sonuçları vermiştir. RLR ve YÖE öznitelik indirgeme metotları 50 adet en iyi öznitelikle sınıflandırma yapılacak şekilde uygulandıktan sonra ilk veride DVM, iki yöntemde de %99.23 ile en yüksek doğruluk oranıyla; ikinci veride ise RLR'de %87.87 ile, YÖE'de %88.82 ile yine DVM en iyi oranla sınıflandırma yapmıştır.

Pashei (2017), başarılı bir hastalık teşhisi için, sınıflandırma ile alakalı az sayıda ayrımcı gen seçmek gerektiğini ve mikrodizi veri analizinde gen seçiminin hem sınıflandırma doğruluğunu arttırdığı hem de klinik ortamda işleme süresini azalttığını vurgulamıştır. Bu nedenle, başarılı bir hastalık teşhis sistemi geliştirmek için genlerin minimum bir alt kümesini belirlemede, melez doğadan esinlenmiş optimizasyon algoritmaların ve farklı sınıflayıcılara dayanan kanser sınıflandırmasında yüksek derecede ayırıcı gen seçimi için iki yaklaşım önermiştir. Dört klinik veri kümesindeki deneysel sonuçlar ve istatistiksel analiz, önerilen yöntemin, ateş böceği, karınca koloni, yarasa arama, genetik algoritma, armoni araştırması, hızlı korelasyon tabanlı süzgeç ve korelasyon tabanlı özellik alt küme seçimi gibi yaklaşımlara göre önemli derecede daha iyi sınıflandırma performansı elde ederken çok küçük bilgi grubu genleri ürettiğini göstermektedir. Önemli bir tümör baskılayıcı mikroRNA olan MiR-145, birçok kanser çeşidinde downregüle edildiğini ve tümörün başlatılması, progresyonu, metastazı, invazyonu, reküransı ve kemoradyolojik direncinde önemli rollere sahip olduğunu göstermiştir.

Burakgazi (2017), çalışmasında RNA dizileme verileri üzerinde makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak meme kanseri hastalarının alt tipini tayin etmeyi amaçlamıştır. Önemli genler, kat değişikliği ve t-testi istatistiksel yöntemleri uygulanarak seçilmiştir. Destek vektör makinesi ve Rastgele orman modelleri, hasta numunelerinin %70'lık kısmından elde edilen genlerle eğitilmiştir. Modellerin tahminleme performansı, daha önce kullanılmayan test verileri üzerinde ölçülmüştür. Meme kanseri alt tip sınıflandırmasına hangi genlerin daha fazla etkisi olduğunu bulmak için, her bir alt tipi en iyi sınıflandıran genler analiz edilmiştir. Bu genlerin ilgili oldukları biyolojik aktiviteler, ağ tabanlı bir analiz ve gen zenginleştirme analizi uygulayarak bulunmuştur.

Işık (2018), over ya da akciğer kanseri olduğu tespit edilen bir hastanın kanser alt-türünü tespit edebilecek belirli sayıdaki biyoişaretin makine öğrenmesi yöntemleriyle bulunmasını amaçlamıştır. mRNA gen ekspresyon ve protein seviyesi bilgileri kullanılarak kısıtlı sayıda öz-nitelik seçilmiş, bu öz-niteliklerle gözetimli makine öğrenmesi metotları eğitilmiş, bu modeller ile yeni gelen bir hastanın kanser alt-türü tahmin edilmiştir. Destek vektör makineleri ve rastgele orman algoritmaları, yeni kanser hastalarının kanser alt-türlerini ortalama %87 ile %95 arasında değişen doğruluk dereceleriyle sınıflandırabilmiştir.

Candan vd. (2019), mikro dizi verisinde kanser teşhisi için makine öğrenmesi yöntemlerini kullanmanın, zaman ve doğruluk açısından avantajları olduğunu ifade etmiş ve çalışmasında, akciğer ve beyin kanseri veri setleri üzerinde makine öğrenmesi sınıflandırma yöntemleri ile performans analizi yapmıştır. Aynı veriler genetik algoritma ile öznitelik seçimine tabii tutulmuş ve öznitelik seçimi yapılmış verilerin

performans analizleri tekrar inlecelenip sonuçlar tablolar ile desteklenerek yorumlanmıştır. Makine öğrenmesi sınıflandırma yöntemlerinden Naive Bayes, Bayes NET, kNN, Random Forest ve LSVM kullanılmıştır.

Kılıçarslan vd. (2019), mikrodizi verilerine dayanan veri madenciliği analizi ile hastalık teşhisinin mümkün olduğu ancak ve mikrodizilerin yüksek boyutlu olması ve çok sayıda gereksiz öznitelik içermesinin analiz aşamasında zorluk çıkardığını ifade etmiştir. Bu nedenle çalışmada, prostat kanseri mikrodizi veri kümesi üzerinde öznitelik boyut azaltılması amacıyla Temel bileşenler analizi (TBA) ve Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır. Bu sayede hastalıkları etkileyen genler tespit edilmiştir. Boyutu azaltılmış veri kümeleri Destek Vektör Makinesi ve k-En Yakın Komşuluk sınıflayıcı yöntemlerine giriş olarak verilmiş ve sınıflandırma başarı sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak PSO boyut azaltma yöntemi ile prostat kanserinde etkin genler belirlenmiş ve 50 öznitelik ile %95.77 başarı elde edilmiştir.

**Sağlık hizmetleri**

Amasyalı (2008), ilaç tasarımının çok emek ve uzun zaman isteyen ve buna bağlı olarak çok büyük maliyetler içeren bir sektör olduğunu ifade etmiştir. Bu sürecin ve maliyetin önemli bileşenlerinden birinin olası ilaç moleküllerinin seçilmesi işlemi olduğu ve bu seçim işleminin sınıflandırma, kümeleme, özellik seçimi/çıkarımı, regresyon (eğri uydurma) problemlerinden bir ya da birkaçını içerdiğini belirtmiştir. Bu probleme çözüm üretmek amacıyla, ilaç tasarım süre ve maliyetini azaltacak makine öğrenmesi metotları geliştirilmiştir. Sınıflandırma problemleri için Cline adı altında bir algoritma ailesi tasarlanmıştır. Cline karar ağacı ve karar ormanları algoritmaları ClineToolbox adlı bir yazılımla kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Kümeleme problemleri için Clusline adı altında bir algoritma ailesi geliştirilmiş ve mevcut algoritmalarla çeşitli kümeleme performans kriterlerine göre yarışan sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma sonunda bir veri kümesi üzerinde bir algoritmanın performansı veri kümesinin çeşitli özelliklerine bakarak tahmin edilebilen bir model geliştirilmiştir.

Ghahremanlou (2012), maksimal ve N-Ex değişkenlerini kullanarak doğru VO2max (bir kişinin çalışan kaslara esansiyel yakıt (oksijen) sağlama yeteneğinin ve kasların hareket oluşturmak için bu yakıtı kullanma verimliliğinin bir göstergesi) tahmin modelleri geliştirmektir. VO2max tahmin modellerinin geliştirilmesinde Destek Vektör Makineleri (SVM), Yapay Sinir Ağları (YSA), Çoklu Doğrusal Regresyon (MLR) ve Genel Regresyon Sinir Ağları (GRNN) gibi makine öğrenme yöntemleri kullanılmaktadır.

Bulut ve Bucak (2014) çalışmasında, bir gencin makine öğrenmesi ve veri madenciliğinde sınıflandırma algoritmaları kullanarak uyuşturucu bağımlısı olma olasılığını tespit etmek amaçlanmıştır. Çalışmada özel bir veri seti kullanılmıştır ve aynı zamanda psikometri ve istatistiklere odaklanılmıştır.

Köse (2015) çalışmasında, sağlık alanında sahtecilik ve suistimal vakalarını, ilgili vakaya dâhil olan aktör ve metâlardan (sağlık hizmeti, ilaç, vb.) bağımsız olarak tespit edebilen, anormal davranışların parçalı doğasını dikkate alan ve yeni sahtecilik türleri için kolaylıkla adapte edilebilen özgün bir uygulama çerçevesi önerilmiştir.

Çalışmada, etkileşimli makina öğrenmesi yöntemi kullanılarak uzman bilgisi gerekli tüm alanlarda çalışmaya aktarılmıştır. Alan uzmanları, senaryo hikâyelerini yazarak 6 farklı sahtecilik ve suistimal davranış türü tanımlamışlardır. Önerilen uygulama çerçevesi, gerçek ilaç reçete verileri üzerinde altı farklı sahtecilik ve suistimal davranışı için reçetedeki tüm aktör ve metâları kapsayacak şekilde deneysel süreçlerden geçirilmiştir. Her deneyin Area Under Curve (AUC) ve maliyet etkinlik derecesi ölçülmüştür. Önerilen model ile hem proaktif; hem de retrospektif tespite ve analize imkân sağlayan eFAD™ adında bir ürün geliştirilmiş ve alan uzmanlarının eFAD tarafından tespit edilen şüpheli işlemlerin delillerini inceleyerek nihai karar hızlıca ulaşmaları sağlanmıştır.

Çınaroğlu (2017), kişi başı sağlık harcamasının tahmini amacıyla bir çoklu regresyon modeli oluşturmuştur. Farklı hiperparametre değerleri belirlendiğinde elde edilen Lasso Regresyon, Rastgele Ağaç Regresyonu ile Destek Vektör Makinesi Regresyon performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada hiperparametre değeri olarak Lasso Regresyon için lamda (λ) değeri, Rastgele Ağaç Regresyonu için ağaç sayısı, Destek Vektör Regresyonu için epsilon değeri esas alınmıştır. Sonuçlar 5 ile 50 arasında değişen "k" parça çapraz geçerlilik uygulanarak performe edildiğinde makine öğrenmesi regresyon yöntemlerine ait performans sonuçlarının $R^2$, RMSE ve MAE değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği ($p<0.001$) tespit edilmiştir. Tahmin performanslarına ait yüzey ve çubuk grafikleri ile istatistiksel test sonuçları incelendiğinde farklı hiperparametre değerlerine göre Rastgele Ağaç Regresyonun ($R^2 > 0.7500$, RMSE $\leq 0.6000$ ve MAE $\leq 0.4000$) daha iyi tahmin sonuçlarına sahip olduğu belirlenmiştir.

Eren (2019), insan aktivitelerinin tespitinin kişiye özel günlük kalorilerin hesaplanması, kişinin gerçekleştirdiği hareketlere göre sağlık durumunun analizi gibi sağlık uygulamaları olarak veya yaşlı insanların bulundukları ortamda gerçekleştirdiği hareketler ile gözetlenmesi, insan pozisyon takibi ve çeşitli güvenlik uygulamalarında kullanıldığını ifade etmiş ve çalışmasında, bir insan aktivite tespit sistemi tasarımı gerçekleştirmiştir. WISDM (Wireless Sensor Data Mining) ham veri seti kullanılarak, sürekli zamanlı dalga öznitelikleri ve Saklı Markov Modellerine dayalı öznitelikler çıkarılmış ve bu öznitelikler insan aktivite tanımlamadaki etkileri incelenmiştir. Kurulmuş olan makine öğrenmeleri algoritmaları kullanılarak gerçek zamanlı bir uygulama örneği çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Sakarya (2019), son zamanlarda yaygın ve ayak taban siğili olan hastalara uygulanmaya başlanan kriyoterapi ve immünoterapi tedavi yöntemlerinin siğil tedavisinde başarılı olup olmayacağını makine öğrenmesi yöntemleri (NaiveBayes, Lojistik Regresyon, K-yakın Komşuluk, Karar Ağacı, Destek Vektör Makineleri, Aşırı Öğrenme Makinesi, Çok Katmanlı Algılayıcı) ile tedavi uygulanmadan önce tahmin etmeye çalışmıştır. Seçilen siğil tedavi yönteminin başarısı duyarlık, belirleyicilik ve genel başarım ölçütlerine göre belirlenmiştir. Sonuç olarak, Çok Katmanlı Algılayıcı yöntemi ile literatürdeki mevcut az sayıdaki çalışmadan çok daha yüksek bir doğrulukla tercih edilen siğil tedavi yönteminin başarılı olup olamayacağını tahmin edilebilmiştir.

Görür (2019), makine öğrenmesi algoritmalarını uygulayarak 1-boyutlu hareketler içeren yardımcı teknolojileri kontrol etmek için glossokinetik potansiyel (GKP) tabanlı dil-makine arayüzü geliştirmiştir. GKP sinyalleri, dil hareket bilgilerini içeren elektrik sinyalleridir. Tez çalışmasında GKP sinyalleri, deneysel düzenler içinde dil ucunun yanak duvarlarıyla teması sırasında kafa derisine yerleştirilen elektrotlarla ölçülmüştür. Çalışma ile engelli insanlara yardımcı cihazları doğal, rahatsızlık vermeyen, hızlı ve güvenilir bir şekilde kontrol etmeye hizmet etmek amaçlanmıştır. Çalışmada, geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları ve konvolüsyonel yapay sinir ağı kullanarak sırasıyla %99 ve %100'e ulaşan sınıflandırma doğrulukları elde edilmiş ve yöntemlerin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

**Biyomedikal**

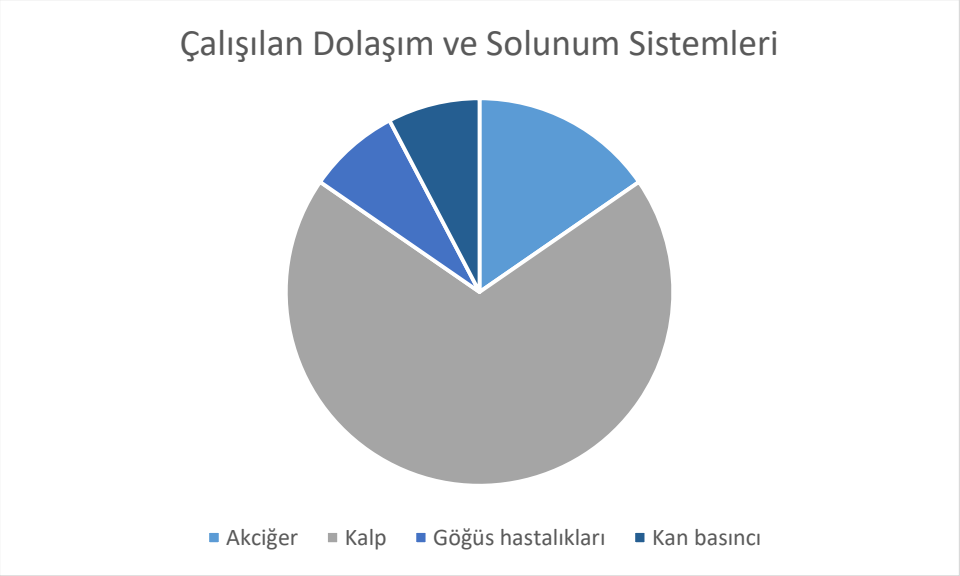
Bağcı (2016), protez-biyonik ellerin işlevselliğini arttırmak için yapılabilecek şeylerden biri olan EMG sinyallerinin analiz edilmesi konusunu ele almıştır. Sinyaldeki gürültülerden arındırmak için frekans band genişliğinin yüksek tutulması sinyalin bütünlüğünü bozan detayların dahil edeceği gibi düşük tutulması ise sinyal için önemli olan detayların kaybolarak karakteristiğinin bozulmasına neden olabileceğini vurgulamış ve doğru sinyal analizi için akıllı algoritmaların kullanılmasının şart olduğunu ifade etmiştir. Çalışmasında, EMG sinyallerinin temsil yeteneği en yüksek olan dalgacık tipi ve ayrıştırma derecesini kestirmeye çalışmıştır. Ayrıca en iyi sınıflandırmanın hangi metodla yapılacağını araştırmıştır. Protez-biyonik ellerin işlevselliğini arttırmak amacıyla gündelik hayatta nesneleri tutmaya/kavramaya yarayan ve sıklıkla kullanılan 6 temel el hareketine ait EMG sinyallerinden oluşan 900 örnek verilik bir veri seti kullanılmıştır. EMG sinyallerine ait temsil yeteneği en güçlü olan öznitelik vektörünü elde etmek için Markov geçiş matrisi elemanları ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü analizi kullanılmıştır. Elde edilen öznitelik vektörüne çeşitli makine öğrenmesi algoritmalarıyla sınıflandırma performans analizleri uygulanmıştır.

## BULGULAR

Bu çalışmada, Türkiye'de makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak sağlık alanında yapılan 68 çalışma incelenmiştir. Bu çalışmalar, Kanserler, nörolojik hastalıklar, dolaşım ve solunum sistemi hastalıkları, böbrek hastalıkları, diyabet hastalığı, bel bölgesi rahatsızlıkları, göz hastalıkları, kadın-çocuk hastalıkları, gen dizilimi/genetik hastalıklar, sağlık hizmetleri ve biyomedikal şeklinde gruplandırılmıştır. Hangi alanda/konuda daha fazla çalışma yapıldığını daha anlaşılır hale getirmek amacıyla, bu gruplar Şekil 1'de verilen grafikle gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, sağlık alanları içerisinde makine öğrenmesi algoritmaları ile en fazla çalışmanın dolaşım ve solunum sistemleri hastalıkları alanında yapıldığı görülmektedir.

**Şekil 1. Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Çalışılan Sağlık Alanları**

Dolaşım ve solunum sistemi hastalıkları içerisinde en fazla kalp rahatsızlıkları konusunda çalışma yapılmıştır. Ardından akciğer ve göğüs hastalıkları gelmektedir (Şekil 2).




**Şekil 2. Dolaşım ve Solunum Sistemleri**

Solunum ve dolaşım sistemlerinden sonra gelen, en fazla çalışılan sağlık alanlarında kanserler ve nörolojik hastalıklar yer almaktadır. Kanser türlerinden en fazla hangisi üzerinde çalışma yapıldığı Şekil 3'te gösterilmiştir.

**Şekil 3. Çalışılan Kanser Türleri**

En fazla ele alınan kanser türleri şu şekildedir: meme kanseri, diğer kanser çalışmaları, cilt kanseri ve bağırsak kanseri. Makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak Türkiye'de Nörolojik hastalıklar ile ilgili olarak en fazla Parkinson hastalığı üzerinde çalışma yapılmıştır.

## SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Sağlık verilerinin karmaşıklığı karşısında geleneksel veri analiz yöntemleri yetersiz kalabilmektedir. Bu sebeple karmaşık yapıların anlaşılması, çözümlenebilmesi için makine öğrenmesi yöntemlerine başvurulur. Sağlık alanı, makine öğrenmesi yöntemlerinin sınırlı kullanıldığı ancak çok önemli kullanım potansiyeli olan alanlardan biridir. Çalışma sonucunda elde edilen bilgiler ışığında makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak sağlık alanında en fazla çalışma solunum ve dolaşım sistemleri hastalıkları, nörolojik hastalıklar ve kanserler konusunda yapılmıştır.

Sağlık alanında çok fazla çalışma yapılmasına rağmen Şekil 2'de görüldüğü üzere belli başlı hastalıklara/konulara daha çok yönelme olmuştur. Örneğin, diyabet, Parkinson hastalıkları ve kanser teşhisi konuları üzerinde çok fazla çalışma yapılmıştır. Kanser türleri içerisinde en fazla çalışılanı meme kanseridir. Bugün dünyada her 10 kadından ikisi meme kanserine yakalanmakta ve meme kanserine bağlı ölümler tüm kanser grupları arasında ikinci sırada olmaktadır. Meme kanseri özellikle kadın sağlığını

tehdit eden, ağrılı vücut değişkenliği yaratan önemli bir sağlık sorunudur. Görülme sıklığı ve içerdiği risk açısından konunun çok fazla çalışıldığı düşünülmektedir.

Uzun süreli tedavi gerektiren ve ölüm riski içeren hastalıklarda, riski azaltmak ve hastanın yaşam süresini uzatmak için erken tanının çok önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle makine öğrenme algoritmalarının erken tanı/teşhis alanında kullanılması ile ilgili yapılan çalışmalar gün geçtikçe artacaktır. Bununla birlikte makine öğrenme algoritmalarının sağlık alanlarında kullanılmaya devam edilmesi ile hem doktorların iş yükleri azaltılacak hem de hastalara daha kaliteli sağlık hizmeti sağlanacaktır.

## KAYNAKLAR

Açıl, T. (2019). Güncel makine öğrenmesi teknikleri ile iris görüntülerinden cinsiyet analizi, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.

Adem, K. (2017). Görüntü işleme ve makine öğrenmesine dayalı diyabetik retinopati hastalığı teşhisi ve sınıflandırılması, Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

Akyol, K, Bayır, Ş, Şen, B. (2016). Detection of hard exudates in diabetic retinopathy retinal images by utilizing visual dictionary and classifier approaches. *Mugla Journal of Science and Technology, 2 (1),* 1-6.

Albayrak, A. (2018). Histopatolojik görüntülerin makine öğrenmesi yöntemleri ile analizi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Amasyalı, M.F. (2008). Yeni makine öğrenmesi metotları ve ilaç tasarımına uygulamaları, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aydın, F. (2011). Kalp ritim bozukluğu olan hastaların tedavi süreçlerini desteklemek amaçlı makine öğrenmesine dayalı bir sistemin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Aydın, F. (2017). Parkinson hastalıkları verilerinin makine öğrenmesi yöntemleriyle araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aykanat, M. (2018). Enhancing machine learning algorithms in healthcare with electronic stethoscope, Ph.D. Thesis, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Department of Electrical and Computer Engineering, Ankara.

Badem, H. (2019). Parkinson hastalığının ses sinyalleri üzerinden makine öğrenmesi teknikleri ile tanımlanması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8 (2),* 630-637.

Bağcı, D. (2016). Biyonik el kontrolü için EMG işaretlerininin makine öğrenmesi yöntemiyle sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.

Başçıl, M . (2019). EEG üzerinde ortaya çıkan beyin dalgalarının çene hareketleri ile ilişki. *Bozok Tıp Dergisi, 9 (3),* 45-49.

Bozkurt, M. R., Yurtay, N., Yilmaz, Z., & Sertkaya, C. (2014). Comparison of different methods for determining diabetes. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, *22*(4), 1044-1055.

Bulut, F . (2017). Obezite riski altındaki çocukların örnek tabanlı sınıflandırıcı topluluklarıyla tespiti. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32 (1).*

Bulut, F., & Bucak, İ. Ö. (2014). An urgent precaution system to detect students at risk of substance abuse through classification algorithms. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, *22*(3), 690-707.

Burakgazi, Y. (2017). Identification of breast cancer sub-types by using machine learning techniques, M.Sc. Thesis, Dokuz Eylül University, Department of Computer Engineering, İzmir.

Candan, H, Durmuş, A, Harman, G. (2019). Genetik Algoritma Ve Sınıflandırıcı Yöntemler İle Kanser Tahmini. *Veri Bilimi, 2 (1) ,* 30-34.

Cihan, Ş. (2018). Koroner arter hastalığı riskinin makine öğrenmesi ile analiz edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Cömert, Z. (2017). Kardiyotokografi işaretlerinin analizi ve makine öğrenmesi teknikleri ile sınıflandırılması, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

Cüvitoğlu, A. (2017). Prediction of synergistic drug combinations by using machine-learning methods, M.Sc. Thesis, Dokuz Eylül University, Department of Computer Engineering and Computer Science and Control, İzmir.

Çakmak, I. (2017). Makine öğrenmesi yöntemleriyle tümör kontrol olasılığının hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Çentik, G. (2013). Makine öğrenmesi yöntemlerinin polisomnografik verilere uygulanması, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Çınaroğlu, S. (2017). Sağlık harcamasının tahmininde makine öğrenmesi regresyon yöntemlerinin karşılaştırılması. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 22 (2),* 179-200.

Demirhan, A. (2018). Performance of machine learning methods in determining the autism spectrum disorder cases. *Mugla Journal of Science and Technology, 4 (1),* 79-84.

Durak, M.N. (2017). Makine öğrenmesi sınıflandırma yöntemleri ile meme kanserinin erken teşhisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Erdursun, M.İ. (2019). Kronik böbrek hastalığının makine öğrenmesi yöntemleriyle analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Eren, K.K. (2019). Makine öğrenmesi yöntemleri ile insan aktivite tespit sistemi tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Ertuğrul, Ö. F., & Sezgin, N. (2018). A noninvasive time-frequency-based approach to estimate cuffless arterial blood pressure. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, *26*(5), 2260-2274.

Ghahremanlou, N.S. (2012). Prediction of maximum oxygen uptake from maximal and non-exercise variables using machine learning methods, M.Sc. Thesis, Çukurova University, Department of Computer Engineering and Computer Science and Control, Adana.

Göker, H, Tekedere, H. (2019). Dynamic Expert System Design for the Prediction of Attention Deficit and Hyperactivity Disorder in Childhood. *Bilişim Teknolojileri Dergisi, 12 (1),* 33-41.

Görür, K. (2019). Makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak glossokinetik potansiyel tabanlı dil-makine arayüzü tasarımı, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Gürel, B.Z. (2019). Vokal kord ölçümlerinden makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak Parkinson hastalığının teşhisi, Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

Hacıefendioğlu, Ş. (2012). Makine öğrenmesi yöntemleri ile glokom hastalığının teşhisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Işık, H. (2017). Motor imagery based mobile brain computer interface design using machine learning techniques, M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University, Department of Mechatronics Engineering, İstanbul.

Işık, Z. (2018). Kanser alt-türlerinin sınıflandırılması için RNA-sekanslama ve RPPA verilerinin karşılaştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 20 (59)* , 606-621.

İsenkul, M.E. (2016). Korteks tabanlı imge gösterim kapasitelerinin uzamsal dönüşümler ve makine öğrenmesi yöntemleriyle ölçülmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

İşeri, İ. (2014). Mamogram görüntülerinden makine öğrenmesi yöntemleri ile meme kanseri teşhisi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Kartal, E. (2015). Sınıflandırmaya dayalı makine öğrenmesi teknikleri ve kardiyolojik risk değerlendirmesine ilişkin bir uygulama, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kaya, E. (2018). Machine learning techniques for surface electromyography based hand gesture recognition, M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University, Department of Control and Automation Engineering, İstanbul.

Kaya, Y, Tekin, R. (2012). Epileptik Nöbetlerin Tespiti için Aşırı Öğrenme Makinesi Tabanlı Uzman Bir Sistem. *Bilişim Teknolojileri Dergisi, 5 (2),* 33-40.

Kaya, Y. (2013). A new intelligent classifier for breast cancer diagnosis based on a rough set and extreme learning machine: RS+ ELM. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, *21*(Sup. 1), 2079-2091.

Kaya, Y. (2017). Makine öğrenmesi teknikleri ile aritmi tespiti ve yeni öznitelikler ile başarımın artırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Kılıçarslan, S, Adem, K, Cömert, O. (2019). Parçacık Sürü Optimizasyonu Kullanılarak Boyutu Azaltılmış Mikrodizi Verileri Üzerinde Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Prostat Kanseri Teşhisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (1),* 769-777.

Kocamaz, A.F., 2012. Makine öğrenmesi tabanlı bir uzman sistem tasarımı, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Kodal Sevindir, H, Çetinkaya, S, Yazıcı, C. (2018). Makine öğrenmesi algoritmaları ve dalgacık dönüşümü ile EKG sinyalinden özellik çıkarımı. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20 (1),* 94-109.

Köse, İ. (2015). İnteraktif makine öğrenmesi kullanılarak, aktör-metâ ilişkisinin analizi ile sağlık geri ödeme sistemlerinde proaktif suistimal tespiti modeli, Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Kurt, İ., 2018. Makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak sesin müzikal öznitelikleri ile Parkinson hastalığının tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Oğuztürk, G. (2018). Diyabet hastalığının makine öğrenmesi algoritmaları ile en iyi doğru tahmininin elde edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Oktay, A.B. (2011). Önsel bilgi kullanılarak tıbbi görüntülerde makine öğrenmesi tabanlı kontur bulma ve nesne konumlandırma, Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.

Örenç, S. (2019). Kronik obstrüktif akciğer hastalığı teşhisi için makine öğrenmesi temelli yeni bir yöntem geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Özkaya, D. (2018). Comparison of machine learning algorithms for blood glucose prediction on aida simulator, M.Sc. Thesis, Boğaziçi University, Department of Biomedical Engineering, İstanbul.

Pashei, E. (2017). Meta-analysis of microRNA and gene selection using machine learning, Ph.D. Thesis, Yıldız Technical University, Department of Computer Engineering, İstanbul.

Pashei, E., 2017. Splice site prediction using machine learning, Ph.D. Thesis, Yıldız Technical University, Department of Computer Engineering, İstanbul.

Saçlı, B., 2018. Machine learning aided kidney stone classification with electromagnetic properties, M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University, Department of Electronics and Communication Engineering, İstanbul.

Sakarya, M. (2019). Seçilen siğil tedavi yönteminin farklı makine öğrenmesi algoritmaları ile başarımının tahmin edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

Sarikoc, F., Kalinli, A., Akgün, H., & Öztürk, F. (2013). An automated prognosis system for estrogen hormone status assessment in breast cancer tissue samples. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, *21*(4), 1199-1221.

Sevli, O (2019). Göğüs Kanseri Teşhisinde Farklı Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Performans Karşılaştırması, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (16) , 176-185.

Şeker, M., 2017. İyi–kötü kokular ile ilişkili EMOTIV-EPOC tabanlı EEG kayıtlarının makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Takci, H. (2016). Centroid sınıflayıcılar yardımıyla meme kanseri teşhisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31 (2).*

Takci, H. (2018). Improvement of heart attack prediction by the feature selection methods. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, *26*(1), 1-10.

Taşdemir, S.B.Y. (2018). Early prognosis of breast cancer using image processing and machine learning, M.Sc. Thesis, Abdullah Gül University, Department of Electrical and Computer Engineering, Kayseri.

Toprak, M.Ş. (2004). Tıp alanında makine öğrenmesi uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Toraman, S., Girgin, M., Üstündağ, B., & Türkoğlu, İ. (2019). Classification of the likelihood of colon cancer with machine learning techniques using FTIR signals obtained from plasma. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, *27*(3), 1765-1779.

Turgut, S. (2017). Makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak kanser teşhisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tümer, E.D., 2018. Nesnelerin interneti ortamındaki veriler kullanılarak makine öğrenmesi algoritmaları ile tahminleme ve gerçek zamanlı veriler üzerinde karmaşık olay işleme, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Uçar, M.K. (2017). Obstrüktif uyku apne teşhisi için makine öğrenmesi tabanlı yeni bir yöntem geliştirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Ünal, Y. (2015). Makine öğrenmesi yöntemleriyle bel bölgesi rahatsızlıklarının tanısı, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Yahyaoui, A. (2017). Göğüs hastalıklarının teşhis edilmesinde makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Yengi, Y, İlhan Omurca, S. (2016). Lojistik Regresyonun Özellik Azaltma Teknikleri ile Gen Dizilimlerinin Sınıflandırılmasındaki Başarısı. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 8 (1),* 1-12.

Yıldız, O. (2019). Derin öğrenme yöntemleriyle dermoskopi görüntülerinden melanom tespiti: Kapsamlı bir çalışma. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34 (4),* 2241-2260.

Yılmaz, E. (2016). Kardiotokogram verisinden fetal iyilik halinin belirlenmesi için bir karar destek sistemi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 21 (2)* , 331-340.

# A LITERATURE REVIEW ON THESIS STUDIES REGARDING MACHINE LEARNING IN TURKEY

Tuba ADAR

Atatürk University, Department of Industrial Engineering, Erzurum, Turkey

tuba.adar@atauni.edu.tr

Elif KILIÇ DELİCE

Atatürk University, Department of Industrial Engineering, Erzurum, Turkey

elif.kdelice@atauni.edu.tr

**ABSTRACT**: Machine learning is an application of artificial intelligence (AI) that provides the ability to learn for systems automatically and from experience. It focuses on the development of computer programs that can access data and use what they have learned for themselves. Since machine learning, which includes computer algorithms modelling the problem according to the data of that problem, is one of the fields that have been studied intensively recently, there are many approaches and algorithms in this regard. Some of these approaches are capable of prediction and estimation, and some of them are capable of classification. The main objective is to provide machines with the ability to process collected data using computerized intelligence tools to collect data with senses similar to human senses and then to make predictions and make decisions at the same level as humans. It focused on many subjects such as natural language processing, cognitive computation, information presentation, image processing, pattern recognition, and has applications in many fields such as healthcare, finance, marketing, quality control, computer networks. In this study, the thesis studies conducted on machine learning issues in Turkey were examined. The aim of the study is to examine in which fields thesis studies are conducted and which machine learning algorithms are used in general. For this purpose, 146 thesis studies are discussed. It was consequently found that the most thesis was made in the field of health and K-nearest neighbors, Support vector machines, Decision trees, Naive Bayes algorithms were used frequently.

**Key words:** machine learning, field of application, algorithms, thesis studies.

# TÜRKİYE'DE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE İLGİLİ YAPILAN TEZ ÇALIŞMALARINA YÖNELİK BİR LİTERATÜR TARAMASI

**ÖZET:** Makine öğrenmesi, sistemlere otomatik olarak ve deneyimlerden öğrenme yeteneği sağlayan yapay zekânın (YZ) bir uygulamasıdır. Verilere erişebilen ve kendileri için öğrendiklerini kullanabilen bilgisayar programlarının geliştirilmesine odaklanır. Ele alınan problemi, o probleme ait verilere göre modelleyen bilgisayar algoritmalarını içeren makine öğrenmesi, son zamanlarda yoğun çalışılan alanlardan biri olduğu için, konu ile ilgili önerilmiş birçok yaklaşım ve algoritma mevcuttur. Bu yaklaşımların bir kısmı tahmin ve kestirim bir kısmı da sınıflandırma yapabilme yeteneğine sahiptir. Temel amaç, makinelere insani duyulara benzer duyularla veri toplama ve daha sonra tahminleri yürütmek ve insanlarla aynı seviyede kararlar almak için bilgisayarlı zekâ araçlarını kullanarak toplanan verileri işleme becerisi sunmaktır. Doğal dil işleme, bilişsel hesaplama, bilgi sunumu, görüntü işleme, örüntü tanıma gibi birçok konuya odaklanmıştır ve sağlık hizmetleri, finans sektörü, pazarlama, kalite kontrol, bilgisayar ağları gibi birçok alanda uygulaması mevcuttur. Bu çalışmada Türkiye'de makine öğrenmesi konusu ile alakalı yapılan tez çalışmaları incelenmiştir. Çalışmanın amacı, tez çalışmalarının daha çok hangi alanda olduğunu, genel olarak hangi makine öğrenmesi algoritmalarının kullanıldığını incelemektir. Bu amaç doğrultusunda 146 tez çalışması ele alınmıştır. Sonuç olarak; sağlık alanında en fazla tez yapıldığı ve K-en yakın komşu, Destek vektör makineleri, Karar ağaçları, Naive Bayes algoritmalarının sıklıkla kullanıldığı tespit edilmiştir.

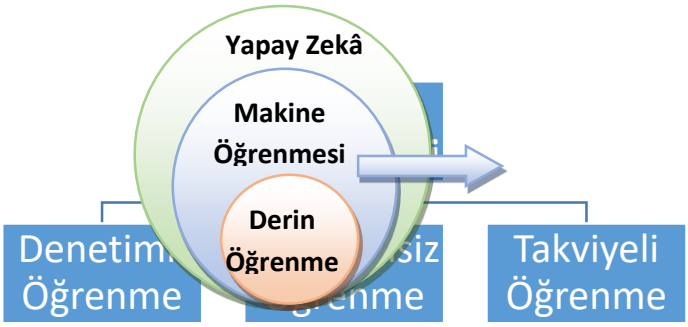
**Anahtar sözcükler:** makine öğrenmesi, uygulama alanları, algoritmalar, tez çalışmaları.

## GİRİŞ

Yapay zekânın bir alt dalı olan makine öğrenmesi, çeşitli algoritmalar ve yöntemler ile veride bazı kalıpları arar ve bu kalıplara karşılık gelen etiketlere bakarak önce öğrenir, daha sonra deneyimlerinden yararlanarak çıkarım yapabilen sistemler geliştirmeye imkân sağlar. Bu imkânı, çeşitli matematiksel ve istatistiksel yöntemlerin kullanıldığı birçok algoritma ile sağlamaktadır. Bu algoritmalar, veri setindeki örnek olayları inceleyerek, bu olayların meydana geliş biçimlerini öğrendikten sonra problem üzerinde genelleme yapma yeteneği kazanır. Büyük veri yığınları içerisinde fark edilmesi zor olan yapıları bulup ortaya çıkarırken, algoritmalar sayesinde olayların meydana gelmesini sağlayan etkenleri ve etkenlerin etki şekillerini öğrenip herhangi bir yeni olay meydana gelmeden önce bu olayı tahmin edebilirler. Bu gibi durumlara şunlar örnek olarak verilebilir: Bir yıl sonraki enerji ihtiyacının ne kadar olacağı, bir uçağın ne kadar gecikeceği, gün içinde yağmur yağışı olup olmayacağı vb. (Shalev-Shwartz and Ben-David, 2014; Keskin 2018).

Yapay zekâ, insanlar gibi hedeflere ulaşma becerisine sahip olan akıllı makineler üretme bilimi ve mühendisliğidir. Makine öğrenmesi, insanların nasıl öğrendiğini de taklit eden bir yapay öğrenme biçimidir. Sinir ağları alanında, derinlemesine ağların üçten fazla katmana, yani birden fazla gizli katmana sahip olduğu alan ise derin

öğrenme alanıdır. Şekil 1'de makine öğrenmesinin yapay zekâ-derin öğrenme ile ilişkisi ve makine öğrenmesinde yaygın olarak kullanılan öğrenme türleri gösterilmiştir.




**Şekil 1. Makine Öğrenmesi ve Öğrenme Türleri**

**Denetimli öğrenme:** Girdi verisi veya eğitim verisi önceden belirlenmiş bir etikete sahiptir; Doğru / Yanlış, Olumlu / Olumsuz vb. Bir fonksiyon veya sınıflandırıcı, test verilerinin etiketini tahmin etmek için kurulur ve eğitilir. Sınıflandırıcı uygun bir doğruluk seviyesi elde etmek için uygun şekilde ayarlanmış (parametre değerleri ayarlanmıştır). Regresyon ve sınıflandırma, denetimli öğrenme türleridir.

**Denetimsiz öğrenme:** Girdi verileri veya eğitim verileri etiketlenmemiştir. Bir sınıflandırıcı, eğitim veri kümelerindeki mevcut modeller veya kümeler çıkartılarak tasarlanır. Kümeleme ve boyut indirgeme, denetimsiz öğrenme türleridir.

**Takviyeli öğrenme:** Algoritma, duruma göre eylemi haritalandırmak için eğitilir, böylece ödül veya geri bildirim sinyali en üst düzeye çıkarılır. Sınıflandırıcı doğrudan eylemi seçecek şekilde programlanmamıştır, ancak bunun yerine en çok ödüllendirici eylemleri deneme yanılma yoluyla bulmak için eğitilmiştir (Das ve Behera, 2017).

Bu öğrenme türleri içerisinde birçok algoritma mevcuttur. Bu algoritmaların, problem türüne göre etkinlik derecesi değişmektedir. İncelenen çalışmalarda en çok bahsi geçen algoritmalar şu şekildedir: K-En Yakın Komşu Algoritması (KNN), Karar Ağacı Algoritmaları (Sınıflandırma ve karar ağacı (CART)), Bayes Algoritmaları (Naive Bayes, Gaussian Naive Bayes), Destek Vektör Makinası (SVM), Kümeleme Algoritmaları (K-Means, K-Medians, vb.)

Bu çalışmanın amacı, makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak Türkiye'de yapılan tez çalışmalarının incelenmesi ve bu algoritmaların uygulama alanlarının sınıflandırılmasıdır. Bu sayede makine öğrenmesi algoritmalarının hangi alanda daha çok uygulandığı tespit edilmiş olacaktır.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde oluşturulmuştur: literatür taraması bölümünde Yöktez'de mevcut olan tez çalışmaları incelenmiş ve çalışmalar yapıldıkları alanlara göre gruplandırılmıştır. Sonuç ve tartışma bölümünde ise literatür incelemesi sonucunda elde edilen bilgiler görselleştirilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

## LİTERATÜR TARAMASI

Yöktez'de, Türkiye'de makine öğrenmesi ile alakalı yapılan toplamda 146 tane tez çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmalar, yapıldıkları alanlara göre ayrılmıştır:

### Ekonomi Alanında Yapılan Çalışmalar

Çizer (2018), çalışmasında kredi risk analizi konusunu ele almış ve kredi talebinde bulunan müşterileri kredi taleplerinin değerlendirilmesinde geri ödeme durumunu etkileyen faktörlerin objektif kararlar verilerek belirlenmesini hedeflemiştir. Bu doğrultuda, makine öğrenmesi tekniklerinden karar ağacı analizi, destek vektör makineleri analizi, bulanık mantık ve genetik algoritma analizi ve yapay sinir ağları analizi uygulamıştır. Yaptığı analizlerin sonuçları içerisinde test verilerini %76 doğruluk oranı ile en yüksek oranda sınıflandıran yöntemin yapay sinir ağları yöntemi olduğunu gözlemlemiştir.

Namlı (2018), çalışmasında filmlerin vizyona girmeden önce gişe hasılatının tahmin edilmesi için makine öğrenmesi esaslı sınıflandırma metodolojileri kullanılmıştır. Sınıflandırma modellerinin oluşturulmasında; makine öğrenmesi esaslı yöntemlerden Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Makinaları, bileşik makine öğrenmesi esaslı yöntemlerden ise Torbalama algoritması gişe hasılatının tahmin edilmesi probleminin çözümünde uygulanmıştır. Çalışmada, hem bireysel sınıflandırma algoritmaları ile bileşik makine öğrenmesi algoritmasının sınıflandırma probleminin çözümündeki başarıları karşılaştırılmış hem de algoritmaların parametre değerlerinin eniyilenmesinin modellerin performansına etkisi araştırılmıştır.

Kalaycı (2018), makine öğrenmesi yöntemleri ile kredi risk analizi konusunu ele almıştır ve Türkiye'deki KOBİ müşterilerinin verilerini analiz ederek ileri bir tarihte durumun problemli kredi olup olmayacağını tahmin etmiştir. Makine öğrenmesi tekniklerinden, lojistik regresyon (LR), karar ağaçları (KA), destek vektör makineleri (DVM), sinir ağları (SA), rastgele orman algoritması (ROA) ve son olarak da meyilli hızlandırma (MH) yöntemleri kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde en iyi başarımı %83,05 başarı ile MH algoritması vermiştir.

Uzel (2018) çalışmasında, Türk Lirası'nın ABD Doları karşısındaki döviz kurunun değişim yönünün tahmin edilmesi için çevrimiçi makine öğrenmesi kullanılarak modeller oluşturulmuş ve model başarımları FOREX piyasalarında alım-satım benzetimi ile gösterilmiştir. Modellerin eğitim sürecinde; döviz kuru zaman serisi sembolik temsile dönüştürülmekte, içinde örüntüler bulunarak örüntü bazında olasılık dağılımı çıkarılmakta ve bu olasılıklar kullanılarak kurun değişim yönü tahmin edilmektedir.

Aktepe 2018, çalışmasında farklı makine öğrenmesi tekniklerinden yararlanarak kripto para piyasalarında fiyat tahminlemesi yapmış ve kar getirebilecek algoritmalara ulaşmayı amaçlamıştır. Çalışmada, kurların Açılış-Yüksek-Düşük-Kapanış fiyat verisinden yararlanarak doğrusal modeller ve karar ağacı bazlı modeller kurulmuştur.

Kanmaz (2018), Borsa İstanbul'da bulunan farklı sektörlerdeki şirketlere ait fiyat verileri ile bu şirketlerle ilintili olan finansal haberlerde kullanılan ifadeler arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu çalışmada, duygu analizi, doğal dil işleme ve finansal haberlerin bireysel hisse senedi performansları üzerindeki etkisi basit ve yeni bir yöntemle incelenmiştir. Duygu analizi, pay piyasasında halka açık bir şekilde işlem gören şirketlerin hisse senedi fiyatlarının günlük performansına göre, bu firmalara ait finansal piyasalarda yer alan haberlerin pozitif veya negatif olacak şekilde otomatik etiketlenmesi suretiyle makine öğrenmesi yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Çelikel (2018), örnek olay incelemesi olarak sosyal medya kaynaklarından Twitter platformu ile borsa verisi olarak İstanbul Borsası ve Bloomberg'deki Pegasus Havayolları A.Ş. ve Türk Hava Yolları A.O'ya ait verilerinden faydalanmıştır. Twitter üzerinden elde edilen tweetlerin borsa verileri ile korelasyonu incelenmiştir. Twitter'dan günlük ve aylık bazda Phyton programlama dili ve Tweett Scraper kullanılarak belirlenen tarih aralığında dataların çekilmesi sağlanmıştır. Ön işleme aşamasında bu dataların temizlenmesi ve manuel olarak oluşturulan pozitif ve negatif sözlüklerden faydalanılarak tweetlerin pozitif ve negatif olarak etiketlenerek sözlük tabanlı yaklaşımla duygu analizi sağlanmıştır. İkinci aşamada ise Borsa İstanbul ve Bloomberg kaynaklı ham verilerin etkili, etkisiz ve gürültülü verilerin temizlenmesi sağlanmıştır. R Studio programı aracılığıyla test ve eğitim aşamalarında regresyon algoritmaları kullanılarak analiz edilmiştir.

Öz (2019), makine öğrenmesi uygulamaları ile online ihale fiyatlarını etkileyen faktörler üzerine deneysel çalışmalar yapmıştır. Çalışmada, akıllı telefon piyasasında yapılan online ihalelerde son fiyat belirleyicileri analitik olarak incelenmektedir. Bu kapsamda 444 adet ihale ve 676 adet ŞSA satış verileri güncel makine öğrenme algoritmaları ile analiz edilmiştir.

Tozlu (2019) çalışmasında, ticari kredi başvurularında şirket bilançoları üzerinde gerçekleştirilen aktarma-arındırma işlemlerinin makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak basitleştirilmesini ele almıştır. Deneylerde LGBM, XGBoost, Catboost, karar ağacı, rastgele orman ve yığılmış genelleme yöntemleri kullanılmıştır.

Bulut (2019), tarımsal kredi limitlerinin tespit edilmesinde kullanılan değişkenler ile kredi kullanan şahıslara ait bazı demografik özelliklerin, kredilerin vadesinde tahsil edilmesine ne ölçüde etkide bulunduğunu tespit etmeyi amaçlamıştır. Amaç doğrultusunda bazı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak, kredi tahsisinde kullanılan değişkenleri içeren bir model geliştirilmesi ve bu modelin kredilerin vadesinde tahsil edilip edilemeyeceğini en iyi şekilde öngörmesi hedeflenmiştir. Doğrusal Ayırma Analizi ve Lojistik Regresyon algoritmaları tarafından geliştirilen modellerin, eşik değerin altında doğru sınıflandırma yapabildiği görülmüştür. K en yakın komşu, Naive Bayes ve Yapay Sinir Ağları algoritmaları tarafından ortaya konulan modellerin eşik değerin üzerinde ve eşit düzeyde doğru sınıflandırma yapabildiği gözlenmiştir. En yüksek düzeyde doğru sınıflandırma yapabilen tahmin modeli, Karar Ağacı algoritmasınca geliştirilmiştir.

Demirel (2019), makine öğrenmesi ve derin öğrenme ışığında hisse senetlerinin açılış ve kapanış fiyatlarının tahmin edilmesini amaçlamıştır. Bu kapsamda tahminleme modeli oluşturabilmek adına Çok Katmanlı Algılayıcılar (ÇKA) ve Destek Vektör

Makineleri (DVM) gibi klasik makine öğrenimi yöntemleri ve Uzun Kısa Dönemli Hafıza (UKVH) yöntemi gibi derin öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda ÇKA ve UKVH ağlarının DVM'lerine göre daha tutarlı tahminler yaptığı tespit edilmiştir.

**Enerji Alanında Yapılan Çalışmalar**

İşyapar (2013), çalışmasında abone gruplarını temsil eden yük profillerinin sınıflandırılması ile özel tarife tasarımı, yük tahmini ve kaçak elektrik kullanımının tespiti gibi uygulamaların yapılabileceği ve bu alanda karşılaşılan problemlere çözüm üretebileceğini vurgulamıştır. Bu amaçla, Türkiye'de faaliyet gösteren bir enerji dağıtım şirketinin abonelerine ait verilerinin veri madenciliği ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak sınıflandırılmasını ele almıştır.

Alamin (2016), elektrik tüketimini hızlı ve güvenirliği yüksek şekilde tahmin etmek amacıyla, Bellek üzerinde çalışan veri tabanları ile makine öğrenmesi konusunu ele almıştır. Python ve Aerospike bellek veritabanında makine öğrenmesi teknikleri ile Londra Hanehalkı SmartMeter Enerji Tüketimi verileri kullanılarak elektrik tüketimi tahmin edilmiştir. Ayrıca çalışmada, Python kullanarak makine öğrenmesi için grafiksel kullanıcı arayüzü önerilmiştir.

Keçeli (2016), çalışmasında sosyal olayların Türkiye günlük enerji tüketimine etkilerini araştırmıştır. Çalışmada sosyal olayların enerji tüketimine etkisini incelemek için sosyal olayların yer verildiği kaynaklar araştırılmış ve gazete haberlerinde sıkça sosyal olaylara yer verildiği görülmüştür. Bu olayların haber metinlerden öğrenilebileceği kabul edilerek çalışmada sosyal olay kavramı, günlük gazete haberlerine indirgenerek Türkiye'de çok satılan gazetelerin birinin günlük haberlerinden yararlanılmıştır. Bu çalışmada üç-seviyeli bir makine öğrenme altyapısı kullanılmıştır; haber kategorileri, haberlerin enerji tüketim etkileri (haber puanları) ve günlük enerji tüketim etkileri çalışmada modellenmiş iç içe çalışan üç ayrı problemdir. Bu problemlerin her biri için çeşitli denetimli, tek etiketli makine öğrenme modelleri önerilmiş ve birçok makine öğrenme algoritması ile test edilmiştir.

Aksoy (2018), çalışmasında ilgili verileri kullanarak, derin öğrenme yöntemleri ve makine öğrenme yaklaşımları yardımıyla kısa vadeli rüzgâr gücü üretim tahmini yapmıştır. Bursa'nın Harmanlık ilçesindeki rüzgâr gücü üretim tesisindeki 8 türbin ele alınmıştır. Çalışmada "Çoklu Doğrusal Regresyon", "Destek Vektör Regresyon", "K-En Yakın Komşu " ve "Karar Ağacı Regresyonu" gibi farklı regresyon yöntemleri ile güvenilir tahmin algoritmaları oluşturulmuştur. Derin öğrenme yöntemi ise Python programında optimum konfigürasyonu kurmak ve rüzgar güç üretimini tahminlemek için kullanılmıştır.

**İnşaat Alanında Yapılan Çalışmalar**

Mbarak (2017), kritik zemin parametrelerinin belirlenmesinde, drenajsız kayma mukavemeti, elastisite modülü ve limit basınç paramatrelerini tahmin edebilmek için,

"Doğrusal Regresyon", "Random Forest" ve "Gradient Boosting" gibi makine öğrenimi algoritmalarını kullanan regresyon modellerinin geliştirilmesini amaçlamıştır. Çalışma sonunda, en iyi performansı gösteren modeller literatürdeki korelasyon denklemleri ile karşılaştırılmıştır.

Yarmatov (2017), mevcut karayolu üstyapılarının bakımı, onarımı ve yenilenmesi gibi çalışmaların önem kazanmaya başladığını ifade etmiştir. Çalışmada, karayolların üstyapısındaki bozulma derecelerine göre yol yüzey durumunun tahmin edilmesi için yol yüzey durumunu gösteren indeks modellenmiştir. Bu metodoloji, farklı makine öğrenmesi algoritmalarını birleştiren bir hibrid tekniğin uygulanmasını içermektedir.

**Eğitim Alanında Yapılan Çalışmalar**

Ünsal (2011) çalışmasında, mesleki teknik eğitim sürecinde başarılı ve başarısız olmuş bireylere ait toplanan verilere bir makine öğrenmesi tekniği olan Naive Bayes algoritması uygulanarak, sistemin geçmişte yapılan başarılı ve başarısız alan seçimlerini öğrenerek bu seçimler hakkında tecrübe kazanmasını sağlayan bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım ile mesleki alan seçim sürecinde bulunan bireyden alınan verilere göre birey için en uygun mesleki alanın sistem tarafından önerilmesi amaçlanmıştır.

Yıldız (2014), uzaktan eğitimdeki öğrencilerin yılsonu akademik performanslarının önceden tahmin edilmesi ve bu tahmin sonucunda elde edilecek bilginin kullanılmasıyla gerekli önlemlerin alınmasının çok önemli olduğunu ifade etmiştir. Bu amaçla çalışmasında, uzaktan eğitimdeki öğrencilerin ilk 6 haftalık öğretim yönetim sistemi verilerini kullanarak, yılsonu akademik performanslarını tahmin etmeye yönelik yeni bir matematiksel model geliştirmiştir. Klasik bulanık ve uzman görüşüne dayanılarak oluşturulan bulanık modeller kurulmuş, sonrasında genetik algoritma kullanılarak bulanık modele ait üyelik fonksiyon aralıkları optimize edilmiştir. Daha sonrasında kümeleme yöntemleri kullanılarak bulanık mantık ile birlikte melez bir model oluşturulmuştur

Özkan (2015) çalışmasında, makine öğrenmesinin sınıflandırma yöntemlerinden destek vektör makineleri ve k-en yakın komşu algoritması incelenmiştir. Bu yöntemler kullanılarak vakıf üniversitelerinin izleyen yıl ya da yıllarda kontenjanlarını doldurup doldurmayacağının tahmin başarısı araştırılmıştır.

Demirhan (2015) çalışmasında, makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak eğitim alanında bir veri kümesi üzerinde doygunluk ve karmaşıklık analizi gerçekleştirilmiştir. Weka'nın sahip olduğu LWL, J48, JRIP, Part, LMT, Baggıng, Random Forest, IBK, MultiLayer Perceptron, Voted Perceptron, SMO, Naïve Bayes sınıflandırma algoritmaları veri kümeleri üzerinde çalıştırılmıştır. Karmaşıklık analizinde verinin lineer olduğu durumlarda Voted perceptron algoritması en iyi sonuçları vermiştir. Sınıflandırma gücü yüksek IBK algoritması ve destek karar makineleri (SVM) ile yapılan deneylerde eğitim verisi ile aşırı uyum (overfitting) durumu ortaya çıkmıştır.

Karabıyık (2018) çalışmasında, akademik yayınlar için makine öğrenmesi tabanlı arama motoru tasarlanması ve uygulanması konusunu ele almıştır. Arama motorunun

sadece akademik yayınları bulması için kısıtlayıcı bir ağ örümceği tasarlanmıştır. Yapılan uygulamada arama sonuçlarının en doğru şekilde bulunabilmesi için metin sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu alanda en çok kullanılan sınıflandırıcılardan olan Sade Bayes ve Destek Vektör Makineleri sınıflandırıcıları uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Aynı test verisi uygulandığında Sade Bayes sınıflandırıcıda %80, Destek Vektör Makineleri sınıflandırıcısında ise %70 başarı oranı elde edilmiştir.

Çiftçi (2018), Gazi Üniversitesi öğrencilerinin eğitmenleri hakkındaki değerlendirmelerini içeren bir veri seti üzerinde çalışmış, çeşitli öznitelik indirgeme algoritmaları ve farklı makine öğrenme algoritmalarıyla eğitmenlerin performanslarını tahmin etmiştir. Öznitelik indirgeme algoritmaları arasında en iyi sonucu Genetik Algoritma vermiş ve bu sayede daha az öznitelik kullanarak Tahmin Doğruluğu Performansı (TDP) arttırılmıştır. Kullanılan sınıflandırma algoritmaları arasında ise en doğru tahmin oranına Derin Öğrenme algoritması ulaşmıştır.

**Çevre Alanında Yapılan Çalışmalar**

Garip (2017), ülkelerin CO2 emisyonlarının takip edilmesi ve gelecek yılların CO2 emisyonlarının planlanmasının çevre için önem arz ettiğini belirtmiştir. Çalışmasında, OECD ülkelerindeki CO2 emisyonları makine öğrenmesi yöntemleri ile tahmin edilmiştir. Literatürde farklı alanlar için tahminlerde başarılı sonuçlar verdiği bilinen makine öğrenme metotlarından M5P, çok katmanlı algılayıcı ve destek vektör makinesi yöntemleri kullanılarak CO2 emisyonu tahmin edilmiştir. 34 adet Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) ülkelerinden yüksek CO2 salınımına sahip ülkelerden A.B.D, Japonya, Kanada, Avustralya, Güney Kore, Almanya, İtalya, Fransa, Türkiye ve Meksika için tahminler gerçekleştirilmiştir. Bu metotların sonuçları farklı metriklere göre karşılaştırılmış ve performans değerlerine bakıldığında destek vektör makinesinin $CO_2$ tahmininde oldukça başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Bilgili (2018), denizcilik sektöründe kullanılan gemi sevkini sağlayan yakıtların yanma sürecinde oluşturduğu gaz emisyonlarının, insan sağlığına ve çevreye çok ciddi zararları olduğunu vurgulamıştır. Çalışmasında, gemi emisyonlarının tahmini, azaltılması ve kontrol altına alınması amacıyla, öncelikle dokuz kuru yük gemisinin günlük raporlarından elde edilen verilerle toplam emisyon miktarları hesaplanmış, ardından bu veriler regresyon analizine sokulmuştur. Regresyon analizinin güvenilirliği yeterli bulunmadığından ikinci kısımda gemilerin günlük raporlarından alınan veriler kullanılarak yapay sinir ağlarında modelleme yapılmış ve en iyi sonucu veren yapay sinir ağı yöntemi tespit edilmiştir. Üçüncü kısımda ise elde edilen en iyi yapay sinir ağı yöntemi Atlantik ve Pasifik Okyanusları'nda kuzey ve güney olmak üzere iki farklı rotaya ocak ve haziran ayları için uygulanmış ve böylece her iki okyanus ve zaman dilimi için de farklı sürelerle farklı deniz ve hava koşullarına sahip bu rotalarda oluşan emisyon miktarları tahmin edilmiştir.

**Fen Alanında Yapılan Çalışmalar**

***Kimya***

Sümbül (2008), öncelikle bağlanma yüzeyindeki amino asitleri yüzeyin geri kalan kısmından ayıran özellikleri araştırmış, daha sonra bu özelliklerin muhtemel bağlanma amino asitlerinin makine öğrenmesi ile tahmininde kullanılmasını ele almıştır. İncelenen özellikler kullanılarak birer makine öğrenmesi metodu olan destek vektör makinesi ve çoklu kernel öğrenmesi metodları ile muhtemel bağlanma amino asitleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Yoldaş (2011), çalışmasında Hidrofibisti yüzeylerin PCP benzeri bileşiklerin bağlanma eğilimlerine etkisini makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak tahmin etmiştir. Çalışmadaki amaç, moleküllerin hidrofobisiti yüzeyindeki noktaların sayısını azaltmaktır. Bu nedenle bu özellik küresel örgütlemeli harita ve k-ortalama kümeleme kullanılarak modellenmiştir. Bağlanma eğilimlerini öngörmek amacıyla destek vektör regresyonu ve kısmi en küçük kareler regresyonu kullanılmıştır.

Acı (2016), karbon nanotüplerin atomik koordinatlarını tahmin etmek için yedi adet tahmin modeli (İleri Beslemeli (İBYSA), Fonksiyon Uydurma (FUYSA), Kaskat Bağlantılı (KBYSA) ve Genelleştirilmiş Regresyon Yapay Sinir Ağları (GRYSA) ile Destek Vektör Regresyonu (DVR), Sınıflama ve Regresyon Ağacı (SRA) Çoklu Regresyon Analizi (ÇRA)) geliştirmiştir. Önerilen modeller ile atomik koordinatların hesaplanma süresini günlerden dakikalara düşürmeyi amaçlamaktadır.

Türkoğlu (2017), Bazik Oksijen Fırını (BOF) ile çelik üretimi işleminin, karbon içeriğini düşürmeyi ve sıcaklığı yükseltmeyi amaçlayan oldukça karmaşık, birçok fazlı fizik ve kimyasal reaksiyon içeren bir işlem olduğunu ifade etmiştir. Proses esnasında BOF içerisine üflenen oksijen miktarı BOF refrakter kaplamasının ömrünü, üretim maliyetlerini ve istenen kalitede çelik üretimi yapılabilmesini etkileyen en önemli kontrol parametresi olduğu için çalışmasında, BOF ile çelik üretimi sürecinde dinamik üfleme aşamasında üflenen oksijen miktarını makine öğrenmesi algoritmaları ile tahminleme modeli geliştirmiştir. En iyi tahminleme modelinin bulunabilmesi için, Doğrusal Regresyon, Çok katmanlı Algılayıcı(MLP), K-En Yakın Komşu (KNN), Aşırı Öğrenme Makinesi (ELM) ve Destek Vektör Makineleri (SVM) tabanlı Sıralı Minimal Optimizasyon (SMO) Regresyonu algoritmalarının Weka ve MATLAB kullanılarak karşılaştırılması yapılmıştır.

Ardıç (2018), ışık spektrum verisinden madde özelliklerinin tahmini için makine öğrenmesi tekniklerini kullanmıştır. Çalışmada farklı sıvı çözeltilerin emilim spektrumları üzerinde kısmi en küçük kareler, gradyan destekli regresyon, rastgele ormanlar, evrişimsel sinir ağları ve uzun kısa-süreli bellek modelleri eğitilerek belirli bir molekülün yoğunluğu tahmin edilmiştir.

Ulutaş (2018), protein parçacık seçiminin proteinlerin üç boyutlu yapılarının tahmin edilmesindeki önemli adımlardan biri olduğunu belirtmiş ve doğru parçacık yapılarının seçilmesinin üç boyutlu yapının doğru tahmin edilmesi için gerekli olduğunu ifade etmiştir. Bu amaçla iki protein parçacığının üç boyutlu yapılarının birbirine benzer olup olmadığını tahmin eden çeşitli yapay öğrenme yöntemleri geliştirmiştir. Çalışmada, üç ve dokuz amino asitlik parçacıkların yapısal benzerlik tahmini için çeşitli sınıflandırma ve regresyon modelleri eğitilmiş ve optimize edilmiştir. Bunlar arasında lojistik regresyon, AdaBoost, karar ağacı, en yakın komşu,

sade Bayes, rastgele orman, destek vektör makinası ve çok-katmanlı algılayıcı bulunmaktadır.

***Biyoloji***

Ataş (2011), çalışmasında dokulu gıdaların sınıflandırılmasında hiperspektral görüntüleme ve makine öğrenmesi konusunu ele almıştır. Amaç, bu yöntemleri kullanarak pul biberleri temiz biberlerden, hızlı ve tahribatsız bir şekilde ayırabilecek bir bilgisayarla görü sistemi geliştirmektir. Doğrusal Ayrımsallık Sınıflandırıcısı (DAS), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri sınıflandırıcı olarak kullanılmıştır.

Güneş (2017), günümüzde gıda kaynaklı hastalıkların, genellikle patojenik mikroorganizmalar veya kanserojen toksinler içeren gıda ürünlerinin tüketilmesinden kaynaklandığını ifade etmiştir. Gıda güvenliği problemlerinin çözümünde bilgisayarlı görmeye dayalı tahribatsız çözüm yöntemleri önemli bir gereklilik olduğu için çalışmada hiperspektral görüntüleme teknolojisi kullanılarak aflatoksin ve yüzey küf kontaminasyonuna sahip incirlerin yüksek başarımla tespit edilmesine yönelik özgün yöntemler geliştirilmiştir. Aflatoksin ve yüzey küf yaklaşımı için hiperspektral görüntülerin sınıflandırılmasına yönelik etkili algoritmalar geliştirilmiştir. Ayrıca yeni bir yöntem önerilmiş ve bu yöntem ile eğitim kümesi için gerekli olan etiketli örnek sayısı minimum düzeye indirgenerek etiketleme maliyeti düşürülmüştür.

Demir (2018), arı kanatları üzerindeki kavşak noktalarına göre arı türlerinin sınıflandırılmasını amaçlamıştır. Destek Vektör Makineleri (DVM), Yapay Sinir Ağları (YSA), K-Ortalama (K-Means) ve K-en Yakın Komşu (KNN) algoritmaları, sınıflandırma yöntemi olarak kullanılmıştır. Veri boyutunu azaltmak için Kaba Kuvvet Yöntemi (BFM) , İleri Sıralı Seçim (SFS) ve Lineer Discirimant Analiz (LDA) yöntemlerinden yararlanılmıştır. Arı alt türlerinin sınıflandırılmasında en yüksek başarı, K-Means yöntemi ile %50, DVM yöntemi ile % 71, KNN yönteminde ile %55,3 ve YSA ile %82,7 olarak gözlemlenmiştir.

Balta (2018) çalışmasında, Makine Öğrenmesinde yaygın kullanılan Yapay Sinir Ağları, K-NN, K-Means, Naive Bayes, ve Karar Ağacı Sınıflandırma (ID3) yöntemlerinin, ekolojik verilerde ne şekilde kullanılabileceğinin anlaşılması amacıyla iki adet örnek veri kümesi, bu yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Öztürk (2018), makine öğrenmesi ve görüntü işleme tekniklerini kullanarak, drone ile farklı bitki çeşitlerinden ortaya çıkan yaprakların şekilsel olarak sınıflandırmasını yapmıştır. Bu çalışmadaki amaç, insansız hava araçları vasıtasıyla otonom bir şekilde yaprak çeşitlerini tanıyarak tarımda kimyasal ve biyolojik iyileşmenin önünü açmaktır. İlaveten, drone görüntülemesi sayesinde bitkisel hastalıklar ve böceklenme gibi ortaya çıkabilecek sorunlar daha önceden fark edilerek gerekli tedbirlerin alınmasını kolaylaştırmaktadır. Sınıflandırmaların başarıya ulaşması için Watershed algoritması uygulanmıştır. Her bölümde de, temel olarak görüntünün işlenmesi, özelliklerin cıkartılması, özelliklerin öğretilerek SVM ile sınıflandırma yapılmıştır.

***Fizik***

Abuzarifa (2018) çalışmasında, tek bir görüntü üzerinde yerçekimi yönü tespit etmek amacıyla, klasik görüntü geometrisine dayalı yöntemlerle makina öğrenmesine dayalı

yöntemler gerçeklenip karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışmada yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen metod ve Derin sinir Ağları, gürültülü okumalar direkt kullanılarak oluşturulmuş geniş bir veri seti üzerinde eğitilmiştir, deneysel sonuçlar ayrıntılı olarak sunulmuştur.

**Ağ Güvenliği/Güvenlik Alanında Yapılan Çalışmalar**

Özhan (2013) çalışmasının amacı, günümüz bilgisayar sistemlerinin sağlıklı çalışabilmesi için önemli bir süreç olan ağ güvenliğini artırmaktır. Bu amaçla ağ güvenliğini sağlamada temel unsur olan güvenlik duvarları, daha önce araştırmacılar tarafından çok az denenmiş yapay zekânın alt dalı olan makine öğrenmesi yöntemleri ile analiz edilmiş ve güvenliği artırıcı bir model oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaca ek olarak güvenliği artırmada yeni yöntemlerin alternatif çözümler sunabileceği de gösterilmeye çalışılmıştır.

Topuz (2014), çalışmasında makine öğrenmesi algoritmalarının ve yaklaşımlarının, veri kümesi içinde beklenmeyen davranış olarak tanımlanan anomalinin tespit edilmesinde nasıl kullanılacağını göstermiştir.

Kaytan (2016) çalışmasında, öncelikle bilgi güvenliğine yönelik tehditler açıklanmış; bu tehditlere karşı savunma yöntemleri ve öneriler sunulmuştur. Oltalama web sitelerinin tespit edilmesine yönelik olarak iki uygulama gerçekleştirilmiştir. Birinci uygulamada Yapay Sinir Ağı modeli ile oltalama web sitelerinin tespit edilmesine yönelik sınıflandırma uygulaması gerçekleştirilmiştir. İkinci uygulamada ise Aşırı Öğrenme Makinesi modeli ile oltalama web sitelerinin tespit edilmesine yönelik sınıflandırma uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Kaya (2017) çalışmasında, gerçekleştirilen deneylerle saldırı tespit sistemlerinde en sık kullanılan makine öğrenmesi tekniklerinden Bayes ağları, destek vektör makinesi, karar ağaçları, yapay sinir ağları ve k en yakın komşu algoritmasının performans analizi yapılmış ve saldırı türlerine göre doğruluk, seçicilik, duyarlılık, kesinlik, F-Ölçütü değerleri incelenerek en başarılı sınıflandırıcılar belirlenmiştir.

Yıldırım (2017), günümüzde her gün binlerce sistemin otomatik araçlarla yapılan ve uzman saldırganların çeşitli yöntemler kullanarak gerçekleştirdiği saldırılara maruz kaldığını ifade etmiştir. Yapılan bu çalışmada, bilgisayar ağlarındaki anomali (düzensizlik) tespitinde kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinden bazıları incelenmiştir. Bu alanda en çok tercih edilen veri setlerinden KDD cup'99 ve NVD veri setleri üzerindeki başarı oranları karşılaştırılacak ve performans analizleri yapılmıştır.

Özdağ (2017) çalışması kapsamında, özellik seçim yöntemi olarak bilgi kazanımı ve özellik çıkarım yöntemi olarak da temel bileşen analizi kullanılarak doğruluk oranları üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Saldırı tespiti için makine öğrenmesi algoritmalarından Yapay Bağışıklık Sistemi (YBS) kullanılmıştır. YBS'nin öğrenme sürecinde etkinliğini arttırmak için geleneksel detektör üretim tekniklerine ek olarak genetik algoritma kullanılarak hibrid bir çözüm geliştirilmiştir. YBS ile geliştirilmiş modelin, eğitim ve test aşamalarında KDD Cup 99 veri seti kullanılmıştır.

Akar (2017), araç içi kontrol ağları uygulamaları için Makine Öğrenmesi metotlarını kullanan anomali tabanlı araç içi saldırı tespit motorunu (IVADE) önermektedir. Araçtan araca ağlarda (V2V) ve araçtan altyapıya ağlarda (V2I) Kooperatif Farkındalık Mesajı (CAM) içeriği olarak paylaşılan ve aracın konum, hız ve yön bilgisini içeren Hareket Verisine yönelik veri bozma saldırılarını tespit etmeyi amaçlamaktadır. Algoritmanın işlevselliği, Şerit Takip Asistanı (LKA) sistemine ait modelin sinyal ölçümleri ve kontrol işlemleri için Elektronik Kontrol Birimleri (ECU) ile bir CAN haberleşme hattı üzerine simülasyonu uygulanarak doğrulanmıştır. IVADE'de uygulanan makine öğrenmesi özellikleri, araç içi ağdaki CAN ağı üzerindeki mesajların veri alanlarından toplanmış, otomotiv sistemlerine özgü dinamik sistem davranışı bilgileriyle desteklenmiş ve Karar ağaçları ile öğrenilmiştir.

Büber (2017), "Oltalama Saldırıları" nın, insanların zafiyetlerinden faydalanarak kullanıcıların gizli bilgilerini elde etmeyi amaçlayan, kişi ve kurumları tehdit eden siber saldırı türlerinden birisi olarak tanımlamış ve bu saldırıların neden olduğu maddi kayıpların azaltılabilmesi için kullanıcıların bilinçlendirilmesinin yanı sıra bu tip saldırıları tespit etme yeteneğine sahip uygulamalara ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır. Bu amaçla, çalışmasında, Oltalama Saldırılarının karakteristik özniteliklerinin açıklanmasının ardından bu saldırıların tespit edilmesine yönelik Makine Öğrenmesi tabanlı bir sistem önerilmiştir. Oluşturulan sistem üzerinde birçok test uygulanmış ve elde edilen başarı oranlarına ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Gerçekleştirilen testler sonucunda test edilen algoritmalar arasından Rastsal Orman algoritmasının en yüksek başarı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Kapar (2018), kimlik Avı saldırısında kullanılan web sitelerinin makine öğrenmesi algoritmaları yardımıyla tespiti ve uygulaması konusunu ele almıştır. Çalışmada Lojistik Regresyon, KNN ve Naive Bayes algoritmaları kullanılarak, PhishTank ve Google arama sonuçlarında elde edilen URL setleri üzerinde modeller eğitilmiştir. Lojistik Regresyon algoritmasının diğer algoritmalara göre daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Peynirci (2018), son kullanıcının, tipik güvenlik yetersizliğine bağlı olarak, kötücül yazılımın Google Play Store veya herhangi bir resmi olmayan uygulama mağazasında yayımlanmadan önce tespit edilmesinin hayati bir öneme sahip olduğunu vurgulamıştır. Çalışmasında, makine öğrenmesi teknikleri kullanarak yeni bir Android kötücül yazılım tespit metodolojisi yanında yeni bir öznitelik seçim metodolojisi ortaya koymuştur.

Kurt (2019), makine öğrenmesi algoritmalarının aynı ağ verileri üzerindeki performanslarını karşılaştırarak geliştirilmekte olan saldırı tespit sistemlerine referans kaynak oluşturmayı amaçlamıştır. Çalışmada, büyük veri teknolojisi Apache Spark kullanılarak KDD Cup'99 verilerinin tamamı makine öğrenmesi algoritmalarından Lojistik Regresyon, Destek Vektör Makineleri, Naive Bayes ve Rastgele Orman üzerinde koşturulmuş; sonuçlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Akpınar (2019), otomasyon uygulamalarında yaygın bir kullanıma sahip olan, Ethernet tabanlı gerçek zamanlı EtherCAT protokolü için Snort saldırı tespit sistemi üzerinde bilinen ve bilinmeyen saldırıları tespit eden bütüncül bir yapı ve makine öğrenmesi teknikleriyle anomali tespiti olmak üzere ikisi kural biri anomali tespitine

dayanan 3 farklı yaklaşım sunmaktadır. Sistem, geliştirilen önişlemci yardımıyla, bilinen saldırılar için güvenli düğüm yaklaşımı, bilinmeyen saldırılar için ise saha veri yolu tekrar periyodunu tespit ederek istatistiksel tekniklerle ve özgün çözümlerle kural tabanlı olarak saldırı tespitini kapsamaktadır. k-NN ve SVM GA tekniklerinin olay tespitinde başarılı sonuç verdikleri belirlenmiştir.

Khalifa (2019), yasadışı gizli iletişimleri engellemek için steganalize olan ihtiyacın arttığını ifade etmiş ve eş oluşum matrisini, frekans alanı dönüşümlerini, ilk üç momenti ve Geri Yayılımlı Sinir Ağlarını (GYSA) kullanarak hareketsiz görüntülerdeki gizli bilgileri tespit etmek için bir steganaliz sistemi sunmuştur. Görüntünün gizli bilgi içerip içermediğini belirlemek için bir GYSA sınıflandırıcısı kullanılmıştır.

**Duygu Analizi/Metin Sınıflama Alanında Yapılan Çalışmalar**

Doğrusöz (2007) çalışmasında, veri madenciliğinin bir alt dalı olan metin madenciliği kapsamında metin sınıflama algoritmalarının matematiksel modelinin incelenmesi ve bir uygulamasının yapılması ele alınmıştır. Literatürde bu konu ile alakalı olan çalışmalar incelenmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Ayrıca, algoritma performanslarının sayısal sonuçları verilerek özellik seçim algoritmalarının sınıflama yüzdesini ne ölçüde etkilediği tartışılmıştır.

Çetingöz (2011), "anahtar ifade"nin, bir metnin içeriğini özetleyen anlamsal kelime ya da kelimeler topluluğu olduğunu ve anahtar ifade ile bir metnin tamamının okunmasına gerek kalmayacak şekilde metnin içeriği hakkında fikir sahibi olunabileceğini vurgulamıştır. Çalışmasında, Türkçe haber metinlerinden elde edilen eğitim ve test verilerini ve açık kaynak kodlu yazılım algoritmasını kullanarak uygulama geliştirmiştir.

Güldan (2014), olumsuz aldatıcı tüketici yorumlarını tespit edebilmek üzere, çoklu sınıflayıcılı sistemler kullanılarak bir model önerilmiş ve önerilen model otel yorumları ile ilgili olarak hazırlanmış veri setinde uygulanmıştır. Önerilen modelde, beş sınıflayıcı (libLinear, libSVM, ardışık minimal optimizasyon (SMO), Random Forest ve J48'dir. LibSVM ve libLinear, Destek Vektör Makinelerinin (DVM)) kullanılmıştır.

Güvenç (2016), doğal dil işleme konusunda makine öğrenmesi yöntemleri ile anahtar kelime çıkarma ve metin özetlemeyi ele almıştır. Word2Vec ve PageRank algoritmalarını kullanarak anahtar kelime çıkartmak için yeni ve etkili bir yöntem önermiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, önerdikleri özetleme algoritmaları haber metinleri üzerinde en iyi sonucu verirken kısa öyküler için daha az optimal sonuç vermektedir.

Onan (2016) çalışması kapsamında, görüş madenciliği, bir metin sınıflandırma problemi olarak ele alınarak makine öğrenmesi yöntemleri aracılığıyla etkin görüş sınıflandırma yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemlere dayalı yeni bir sınıflandırma mimarisi önerilmiştir. Bu mimari ile geliştirilen yöntemler etkin bir

şekilde birleştirilerek mevcut ve geliştirilen yöntemlerin bireysel performanslarına kıyasla daha iyi başarım elde edilmiştir.

Taşpınar (2017), çalışmasında gözetimli öğrenme algoritmalarını ve sosyal medya uygulaması Twitter verilerini kullanarak, mikro blog (Twitter) verilerinde kavram tanıma/çıkarma işlemi yapmıştır. Verilen 140 karakter içinden kişi, organizasyon, lokasyon, ürün, olay ve karakter bilgileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Veri kümesi olarak 2016 yılında yapılan NEEL konferansı verileri kullanılmıştır. Önerilen sistemin sonuçları da aynı konferanstaki sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Başkaya (2017) çalışmasında yapılan ilk uygulama, makine öğrenmesi teknikleri ile haber metinlerinin farklı öznitelik ve terim ağırlıklandırma yöntemleriyle sınıflandırılması, yöntemlerin verimliliğinin ve başarısının test edilmesidir. İkinci uygulama ile yine makine öğrenmesi teknikleriyle duygu analizi çalışması yapılarak, Twitter gönderilerini içeren farklı iki veri seti pozitif, negatif ve nötr sınıflarla etiketlenmiş ve Parçacık Sürü Optimizasyonu tabanlı K-En Yakın Komşu Algoritması ile sınıflandırılmıştır. Daha önce aynı veri kümeleri üzerinde önerilen guguk kuşu algoritması ile karşılaştırıldığında önerilen yöntemin daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Altan (2018), metin sınıflandırma problemine makine öğrenmesi yöntemleriyle çözüm getirmiştir. Metin sınıflandırma işlemi sırasında; doğal dil işleme teknikleriyle metni temsil eden değerler belirlenirken sınıflandırma aşamasında farklı makine öğrenmesi algoritmaları birleştirilerek sınıflandırıcı topluluğunun başarıları gözlenmiştir. Öznitelik vektörü olarak kelimeler, cümle birimleri ve varlık isimlerinin birlikte kullanılmasının başarıyı olumlu etkilediği görülmüştür.

Ayata (2018), Türkçe ve İngilizce twitter duygu sınıflandırması için makine öğrenmesi ve doğal dil işleme tekniklerinin uygulanmasını göstermiştir. Cümle bazında duygu çözümlemesi ile kullanıcıların bir ürün, kişi vb. hakkında yazdığı mesajların olumlu, olumsuz veya nötr sınıflarından hangisini taşıdığını belirleme işlemi yapılmıştır. Çalışmada Türkçe tweet duygu çözümlemesi, sektöre dayalı duygu çözümlemesi, İngilizce tweet duygu çözümlemesi ve politik yönelim tahminlemesi yapılmıştır.

Monhamady (2018), çalışmasında verilen bir web sayfası metninden şirket ismini otomatik olarak tespit eden iki aşamalı yeni bir makine öğrenmesi yöntemi geliştirmiştir. İlk aşamada verilen bir kelimenin şirket ismi olup olmadığını tahmin eden bir sınıflandırma yöntemi geliştirilmiştir. Doğal dil işleme teknikleri ile ve metinsel verilerdeki örüntülerin incelenmesi sonucu öznitelikler çıkarılmıştır. Bu öznitelikler daha sonra Naive Bayes, karar ağacı ve rastgele orman gibi sınıflandırma yöntemlerine girdi parametresi olarak aktarılmıştır. İkinci aşama içinse kural tabanlı bir sınıflandırma yöntemi geliştirilmiştir.

Alnawas (2019), Arap Irak lehçesinde Duygu Analizi çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada veriler toplandıktan sonra, karmaşıklığı en aza indirmek ve metin biçimini standartlaştırmak için veri kümelerinden gereksiz terimler çıkarılmıştır. Özellikler çıkarılmıştır ve bir duygu tahmin modeli oluşturmak için oluşturulan vektörler dört makine öğrenme algoritmasıyla eğitilmiştir.

Işık (2019) çalışmasında, öncelikle müşteri yorumlarının analiz yöntemleri ile incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Yazılı metin içerisinde bulunan içerikler sayesiyle bilgi keşfi adına analiz çalışmalar yapılmıştır. Bu bağlamda gerçekleştirilen bu çalışmada müşteri yorumların sınıflandırılması için Naive bayes, lojistik regresyon ve destek vektör makinesi algoritmaları kullanılmış ve yorumlar üzerindeki model performansları karşılaştırılmıştır.

**Yüz / Ses / El jesti Tanıma Alanında Yapılan Çalışmalar**

Turhal (2016), çalışmasında yüz resimlerinden yaş ve cinsiyet tahmini yapmıştır. Temelde iki farklı problem olan yaş ve cinsiyet tahmini bu çalışmada tek bir problem olarak ele alınmıştır. Bu iki problemi en iyi tanımlayacak minimum sayıda özniteliğin belirlenmesi ve elde edilen öznitelik kümesinin sınıflandırılması sonucunda minimum hesaplama sürelerinde maksimum doğruluk değerlerinin üretilmesi ana hedef olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan örüntülerdeki yüz bölgelerinin tespitinde, literatürde bulunan birçok çalışmada yaygın olarak tercih edilmiş Viola-Jones algoritması kullanılmıştır.

Karabina (2017) çalışmasında, otomatik konuşmacı tanıma çalışmalarında kullanılması amacı ile yeni bir veri seti oluşturulmuştur. TIMIT veri seti ve çalışma kapsamında oluşturulan veri seti üzerinde derin öğrenme ağının da dâhil edildiği bir dizi yapay zekâ tekniği ile konuşmacıların cinsiyet, yaş, boy ve kilolarının tahmini sağlanmıştır. Bu özelliklerin otomatik tahmininin çağrı merkezleri, e-ticaret ile meşgul kurumlar ve adli makamlar gibi kurumlar için fayda sağlayacağı düşünülmüştür.

Kutlugün (2017) çalışmasında, ses sentezlemenin bir çeşidi olan metinden konuşma sentezleme konusu ele alınmıştır. Uygulamada düz metin türlerinin monoton, robotik bir ses biçimi olarak seslendirilmesi yerine, metinleri gruplara ayırarak farklı metin türlerinin kendi alanlarına uygun olduğu düşünülen farklı ses biçimleri şeklinde seslendirilmesinin daha doğal olacağı düşünülmüştür.

Sarı (2017) çalışmasında, iki farklı ses veri seti oluşturularak bu veri tabanları üzerinden metinden bağımsız konuşmacı tanıma uygulaması geliştirilmiştir. Öznitelik vektörü işlemlerine geçmeden önce ses kaydı ön işlemlerden geçirilmiş, sonrasında öznitelik vektörü olarak MFCC katsayıları elde edilmiştir. Sınıflandırma işlemi için makine öğrenmesi yöntemlerinden MLP (Multi Layer Perceptron- Çok Katmanlı Algılayıcı) ağları ve vektör niceleme algoritması kullanılmıştır.

Çelen (2017) çalışmasında, konuşma ve konuşma dışı şeklinde iki sınıfla ifade edilen test verisinde konuşma var olarak işaretlenen pencerelerdeki veriler birleştirilip hızlandırılmış ses verisi üretilmiştir. Hızlandırılmış ses verisi konuşma sentezleme programları ile metine dökülüp sistemin başarımı ölçülmüştür. Bu çalışma ile görülmüştür ki çeşitli yöntemler kullanılarak konuşmalar, insan beyninin anlayabileceği sınırlara kadar hızlandırılabilmektedir. Hızlı dinleme sistemlerini test etmek için konuşma tanıma yöntemleri kullanılan bir sistem geliştirilmiştir.

Öztel (2018), kısmi ve tam yüz görüntüleri üzerinde makine öğrenmesi yöntemleriyle yüz ifadesi tespiti yapmıştır. Yazar tarafından geliştirilen ilk uygulamada, yüz görüntülerinden duygu tespiti için literatürdeki çalışmalardan farklı olarak sadece göz

ve kaşların bulunduğu bölgeler kullanılarak sınıflandırma yapılmış ve yüksek başarım elde edilmiştir. Önerilen bu yöntem sayesinde yüz ifadesi tespitleri alt yüz kapanmalarından veya ağız hareketlerinden etkilenmeyecek, gürbüz özniteliklerin seçimi ile daha az öznitelikle sınırlı kaynaklara sahip cihazlarda çalışabilecek niteliktedir.

Dabanoğlu (2018), altı temel ifadeden oluşan, mutluluk, üzüntü, korku, tiksinme, şaşırma ve öfke ifadelerinin, makine öğrenmesi yardımıyla, kişiden bağımsız olarak gerçek zamanlı videodan tanınmasını amaçlamıştır. Yüz ifadesi tanımada en başarılı bulunan yöntem ve veri seti, gerçek zamanlı videodan alınan görüntüler üzerinde denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, dört sınıftan (ifadesiz, mutluluk, şaşırma ve üzüntü) oluşan veri seti, Destek Vektör Makineleri sınıflandırıcı kullanılarak en yüksek tanıma oranı olan %85,37 tanıma doğruluğuna ulaşılmıştır. İncelenen temel altı yüz ifadesi içerisinde diğer sınıflarla en az karıştırılan iki duygu ise şaşırma ve mutluluk olarak gözlemlenmiştir.

Kaya (2018), çalışmasında geliştirilen el jestlerini tanıma sistemi için Türk İşaret Dili'ndeki rakamların jestlerini veri seti olarak kullanmıştır. Statik el hareketlerinin tanınabilmesi için toplamda 11 farklı el jesti için kas sinyalleri toplanmış. Sekiz farklı kanaldan aynı anda sinyaller toplandığı ve toplanan sinyallerin basit eşikleme yöntemiyle sınıflandırılması mümkün olmadığı için el jestlerinin tanımlanmasında makine öğrenmesi tekniklerine başvurulmuş. Çalışma kapsamında dört adet sınıflandırma algoritması uygulanmış ve el jesti tanımlama performansları karşılaştırılmıştır. Bu algoritmalar k-En Yakın Komşu, Karar Ağacı, Destek Vektör Makinesi ve Yapay Sinir Ağları sınıflandırma algoritmalarıdır. Son olarak, Yapay Sinir Ağları algoritması el jestlerini sınıflandırmak için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek başarımlı sınıflandırma oranı olan 0.87'ye Destek Vektör Makinesi algoritması ile ulaşılmıştır.

Alp (2018), videodan insan aktivitelerinin otomatik tespit edilmesi ve sınıflandırılmasının son yıllarda oldukça fazla miktarda araştırmacının üzerinde çalıştığı aktif bir araştırma konusu olduğunu vurgulamış ve çalışmasında Weizmann ve KTH veri kümelerine ait olan videolar ile çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak aktivite sınıflandırma çalışması yapmıştır. Bu çalışmalar kapsamında hem özniteliklerin çıkarımında, hem de akış sınıflandırmada iki farklı yaklaşım ele alınmıştır. Öznitelik çıkarımında, el ile özniteliklerin çıkarılması ve derin ağlar kullanılarak özniteliklerin çıkarılması-yaklaşımları kullanılmıştır.

**Spor Alanında Yapılan Çalışmalar**

Al-Asadi (2018), çalışmasında futbol takımı yönetimi için makine öğrenmesi yöntemlerinden faydalanan yeni bir karar destek sistemi önermiştir. Bu karar destek sisteminin başlıca hedefi takımdaki her oyuncu için kişisel yeteneklerini temel olarak en uygun pozisyonu belirlemek ve istenen formasyona göre en iyi takımı oluşturmaktır. Ayrıca, bir sezon için 17359 oyuncu içeren FIFA futbol oyunu verileri analiz edilmiş ve bunun için sınıflandırma ve regresyon problemleri için makine öğrenmesi teknikleri kullanılmıştır (linear and logistic regression, random forest, neural network and k nearest neighbor). Son olarak top sürme becerisini belirlemek için dört farklı algoritma kullanılmıştır (linear regression, logistic regression, random

forest and neural network). En iyi sonucu 17 performans niteliği kullanılarak % 99.90 doğruluk değeriyle rastgele orman algoritması vermiştir.

**Sosyal Alanda Yapılan Çalışmalar**

Orakcı (2017), çalışmada; suçun tanımından ve suç bilimi olan kriminolojinin ilgi alanlarından yola çıkarak, veri madenciliği ve makine öğrenmesi tekniklerinin suç analizinde nasıl kullanılabileceğini açıklamıştır. İki tekniğin birlikte kullanımı; yapılan analizlerden elde edilen bulgular doğrultusunda değerlendirilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak, Federal soruşturma Bürosu tarafından oluşturulan, Ulusal Vaka Tabanlı Raporlama Sistemi kullanılarak; tecavüz, cinayet ve adam kaçırma vakaları üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra; terörist grupların gerçekleştirdiği eylemlerin ayrıntılı bilgisinden oluşan Küresel Terörizm Veritabanı kullanılarak terörist grubu tahmin sistemi geliştirilmiştir.

Belek (2018), çalışmasında güvenli yolu tespit ederek insanların bir yerden başka bir yere giderken daha güvenli bir şekilde gitmesini sağlamak için suçları analiz ederken gerçek ortamda harita üzerinde makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak güvenli yol planlaması yapmıştır. Çalışmada, K-Means, K-Median, K-Medoid, X-Means, Expectation-Maximization yöntemleri gerçek suç verileri üzerinde kullanılmıştır.

Şahinarslan (2019), çalışmasında farklı makine öğrenmesi algoritmaları ile nüfus tahmini yapmıştır. Bunun için altı farklı makine öğrenmesi algoritması seçilmiştir; Light Gradyan Artırma (Light Gradient Boosting, LightGBM), Doğrusal Regresyon, Ridge Regresyon, Üstel Düzeltme yöntemlerinden biri olan Holt-Winters, Bütünleşik Otoregresif Hareketli Ortalama (Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA) ve Prophet tahmin modeli. 262 farklı ülkenin 1960-2017 yılları arasındaki 1595 farklı demografik göstergesi kullanılarak modeller eğitilmiştir. Makine öğrenmesi algoritmaları Python programlama dili ile Jupyter program arayüzü kullanılarak eğitilmiştir. Ayrıca, eğitilen modeller ile 2017 yılı toplam Türkiye nüfusu tahmin edilmiştir.

**Ulaşım Alanında Yapılan Çalışmalar**

Akı (2017), sürücü uykululuğunun görüntü işleme ve makine öğrenmesi teknikleri ile gerçek zamanlı olarak tespit edilerek sürücünün uyarılmasını sağlayan bir sistemin tasarlanması ve gerçekleştirilmesidir. Çalışmada veri tabanı oluşturmak için dört gönüllünün gerçek zamanlı kamera görüntüsü verileri kullanılmıştır. Oluşturulan veri setleri ile beş farklı makine öğrenme algoritmasının sınıflandırma performansları birbiriyle kıyaslanmıştır.

Soylu (2018) çalışmasında, yüksek hızlarda ve doğrulukta trafik sınıflandırma yapabilmek için makine öğrenmesi tabanlı ve donanım üzerinde gerçeklenen trafik sınıflandırma yöntemleri incelenmiştir. Çalışmanın ana katkısı olarak paralel boru hatlı (pipeline) mimariler üzerinde uygulanan yüksek hızlarda ve doğrulukta sınıflandırma yapabilen makine öğrenmesi tabanlı Genişletilmiş Simple CART (E-SC) mimarisinin önerilmesidir.

Gülaçar (2018), çalışmasında veri tahmini yapan bir tahmin modülü oluşturmuştur. Çalışmalar için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Trafik Kontrol Merkezi (TKM) tarafından D100 karayolu üzerine yerleştirilmiş, VITAL platformuna bağlı, hız ölçümü

yapan sensörlerin ölçtüğü araç hız verileri kullanılmış ve sensörlerin 30 dakika sonraki hızlarının asgari hata ile tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Veri kümesi üzerinde regresyon işlemi için Karar Ağacı Regresyon (KAR), Gradient Boosting Regresyon (GBR), K-Nearest Neighbours Regresyon (KNN), Kernel Ridge Regresyon (KRR), Random Forest Regresyon (RFR), Destek Vektör Regresyon (DVR) yöntemleri uygulanmıştır. Tahminlerin doğruluk değeri ise Root Mean Square Error (RMSE) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Sınıflandırma işlemi için ise Karar Ağacı Sınıflandırıcı (KAS), Gradient Boosting Sınıflandırıcı (GBS), K-Nearest Neighbours Sınıflandırıcı (KNN), Random Forest Sınıflandırıcı (RFS), Destek Vektör Sınıflandırıcı (DVS) yöntemleri uygulanmıştır.

Karataş (2018), araç sürüş verilerinden makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak sürücü sınıflandırma konusunu ele almıştır. Sürücü kümeleme deneylerinde Dynamic Time Warping ve geliştirdikleri Dynamic Distance Warping veri dönüşüm metodları uygulanarak farklı mesafe metriklerine göre hiyerarşik sürücü kümeleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

**Sağlık Alanında Yapılan Çalışmalar**

Sağlık alanında yapılan 44 tez çalışması, Şekil 2'de görüldüğü üzere kanser, parkinson, diyabet çalışmaları, böbrek, akciğer, kalp hastalıkları, gen dizilimi, bel bölgesi rahatsızlıkları, göz hastalıkları, kadın-çocuk hastalıkları, diğer nörolojik çalışmalar, biyomedikal çalışmalar, tümör kontrol ve diğer sağlık çalışmaları şeklinde gruplandırılmıştır. Dağılıma bakılacak olursa, kalp rahatsızlıkları, gen dizilimi ve kanser konuları üzerinde diğerlerine göre daha fazla durulduğu görülmektedir.

**Şekil 2. Sağlıkta Makine Öğrenmesi Çalışma Alanları**

**Diğer Çalışmalar**

***İş Gücü Tahmini***

Yurdakurban (2018), yazılım projelerinde iş gücü tahmini için makine öğrenmesi yöntemlerini karşılaştırmıştır. Karar Ağacı, Naive Bayes ve Çoklu Regresyon analizi modellerini baz almıştır ve her üç model aynı eğitim veri kümesiyle eğitilmiş ve aynı test veri kümesiyle test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, Çoklu

Regresyon Analizi modelinin en doğru tahminleme sonucunu elde ettiği görülmüştür. İkinci sırada Karar Ağacı, son sıradaysa Naive Bayes modeli yer almıştır.

***Oyun Modelleme***

Şirin (2012), eksik bilgi oyunlarında rakip modelleme problemine ilişkin bir makine öğrenmesi yaklaşımı sunmuştur. Popüler bir örnek olan Texas Usulü Poker, önerilen metodların gerçeklenmesi için kullanılmıştır. Bu çalışmada, rakip modelleme problemi bir sınıflandırma problemi olarak ele alınmıştır. Oyunun her bir fazı için değişik bir sınıflandırıcı içeren bir mimari önerilmiştir. Sınıflandırıcı olarak Yapay Sinir Ağları, K-En Yakın Komşu (KYK) ve Destek Vektör Makineleri yöntemleri kullanılmıştır. Belirli bir oyuncuyu modellemede %88 doğru tahmin oranıyla KYK yönteminin daha başarılı olduğu gözlenmiştir.

***Doğal Taş Sınıflandırma***

Temiz (2018), çalışmasında doğal taş karolarına ait resimlerden görüntü işleme teknikleri yardımıyla renk ve yüzey hakkında bilgi verecek öznitelikler çıkarmış ve daha sonra bu öznitelikleri kullanarak elde ettiği veri setini çeşitli yapay zekâ ve veri madenciliği teknikleriyle sınıflandırmıştır. Veri setlerinin sınıflama performansı, Yapay Sinir Ağları (YSA), Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine-SVM), k En Yakın Komşu (k- Nearest Neighbour-k-NN), Karar Ağaçları (Decision Tree-KA), Naive Bayes (NB) gibi çeşitli yöntemler kullanılarak karşılaştırılmıştır.

***Objektif Karar Verme***

Bilgilioğlu (2018), kararlara etki eden kriterlerin sayısı arttıkça, kriterlerin sıralanması ve ağırlık değerlerinin hesaplanmasının daha karmaşık hale geldiğini ifade ederek, özellikle mekânla ilişkili karar analizlerinde, gerek veri yoğunluğu, gerekse kriterlerin fazlalığının problemi daha karmaşık hale getirdiğini belirtmiştir. Bu problemin çözümüne yönelik, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Karar Destek Sistemleri (KDS) temellerine dayalı Mekânsal Karar Destek Sistemleri (MKDS) yöntemleri geliştirmiştir. Çalışmada, envanter bilgilerine dayalı MKDS'lere yapay zeka tekniklerinden makine öğrenmesi tekniğinin entegre edilmesi ve bu sistemlerinin otomatikleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla makine öğrenmesinde öne çıkan denetimli öğrenme algoritmalarından Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri, CHAID ve Karar Ağacı algoritmalarından ID3, C4.5, CART ve Rastgele Orman algoritmaları Aksaray ili taşınmaz değer haritasının üretiminde kullanılmış ve performansları değerlendirilmiştir.

***Uydu Görüntü Analizi***

Çınar (2019), uzaktan algılama teknolojisindeki son gelişmeler ile yeryüzü hakkında elde ettiğimiz verinin kalitesinin önemli bir biçimde arttığını ve uydu görüntüleri ile yeryüzü hakkında önemli veriler sağladığını ifade etmiştir. Çok kanallı optik görüntülerin destek vektör makineleri, komşuluk bileşen analizi, karar ağaçları, derin öğrenme, k en yakın komşu, lineer diskriminant gibi gelişmiş makine öğrenmesi teknikleri ile sınıflandırılması hedeflenmiştir ve bu metotların performansları analiz

edilmiştir. Bu sınıflandırmanın, arazi kullanımı ve değişim analizi gibi uygulamaların hayata geçirilmesine olanak sağlamak hedeflenmiştir.

***Piksel Hatalarının Tespiti***

Çelik (2019), LCD piksel hatalarının tespiti problemine, bir nesne tespiti problemi olarak yaklaşmış ve makine öğrenmesi temelli üç yöntem önermiştir. Birinci yöntem GLCM öznitelikleri ve SVM sınıflandırıcı kullanmaktadır. İkinci yöntemde CNN sınıflandırıcı kullanılmıştır. Üçüncü yöntem ise piksel hatalarının tespiti için tümleşik, tek aşamalı, CNN tabanlı bir nesne tespit mimarisi kullanmaktadır. En iyi tespit sonuçları tümleşik ve tek aşamalı olan CNN tabanlı bir nesne tespit mimarisi kullanıldığı yöntemle elde edilmiştir.

***Konum Tahmini***

Hassan (2017) çalışmasında, çoğu akıllı telefonda yaygın olarak bulunan Wi-Fi sinyallerini kullanarak makine öğrenmesi yaklaşımlar ile konum tahmini için alternatif bir servis sunulmuştur. ELM, ANN, SVM ve Regresyon gibi makine öğrenmesi yöntemler ile Wi-Fi parmak izi kullanılarak konum belirlemenin gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

***Girişimcilik Niyet Tahmini***

Oruç (2019), girişimcilik yöneliminin kaynaklarını araştırmak, teori ve hipotezleri bir araya toplayarak faktörleri bir arada veri olarak kullanmak ve girişimcilik niyetini tahmin eden bir model önermeyi amaçlamıştır. Makine öğrenmesi kullanarak şimdiye kadar araştırılmış olan girişimcilik niyeti faktörlerinin bir arada kullanılmasıyla, en geçerli tahmin yöntemini geliştirmeye çalışmıştır. Ayrıca, Türkiye içerisinde özellikle kişilerin iş anlamında aktif olabileceği süreç olduğu varsayılarak 18-55 yaş arasındaki bireylerin girişimcilik niyetini etkileyen faktörleri belirleyerek bu faktörlerin birlikte analiz edilmesini sağlamıştır.

***Risk Tahmini***

Sayın (2019), Çoklu Ayraç Analizi, Lojistik Model, Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri, Karar Ağaçları ve Karar Ormanları algoritmaları ile finans dışı şirketlerin süreklilik risklerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Araştırmada R istatistik dilinden ve ilgili R Makine Öğrenmesi model kütüphanelerinden faydalanılmaktadır. Eldeki örneklem çerçevesinde, bir Breiman Karar Ağacı modelinin en başarılı süreklilik riski öngörüsü modeli olduğu ve bu modelin sade ve kolay anlaşılır yapısından ötürü pratikte de faydalı olabileceği öngörülmektedir.

***Hiperspektral Görüntüleme***

Tekcan (2018), hiperspektral görüntülerin makine öğrenmesi ile spektral-uzamsal sınıflandırılmaları üzerinde çalışmıştır. Spektral bilgilerin yanında hiperspektral görüntüden elde edilecek uzamsal özelliklerin de hiperspekral görüntü sınıflandırmada kullanılması amaçlanmıştır. Elde edilen spektral-uzamsal öznitelikler Destek Vektör Makineleri ve Evrişimsel Sinir Ağları ile sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırma deneyleri Indian Pines, Pavia University ve Salinas veri kümeleri ile yapılmıştır.

***Yazılım Geliştirme***

Aktaş (2018), çalışmasında yazılım geliştiricilere ve test uzmanlarına hata eğilimli sınıfları öngörme, hataların kaynakları hakkında bilgi vererek tasarım kusurlarını ortadan kaldırma ve bakım maliyetlerini azaltma konularında yardımcı olmak amacıyla nesneye yönelik sistemlerde kusurlu sınıfların öngörülmesi için makine öğrenmesi temelli bir yöntem oluşturmuştur. Önerilen yaklaşımlar ile sistemdeki hataya eğilimli sınıfları %70'ine kadar bulabilmektedir. Bununla birlikte, hataya yatkın sınıfların belirlenmesinde hangi metriklerin etkili olduğu incelendi, bunların projelere göre farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir.

Rıhtım (2018) çalışmasında, eski teknolojilerle, yeni teknolojinin birleştirilerek kullanılmasına olanak sağlayan, verilerin daha efektif bir biçimde kullanılarak, kullanıcılara performanslı bir kullanıcı deneyimi yaşamalarına olanak sağlayacak bir arama motoru tasarımı makine öğrenmesi teknikleri ile yapılmıştır.

***Algoritmaların İncelenmesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar***

Acı (2009), çalışmasında Bayes, K-En Yakın Komşu Metotları ve Genetik Algoritma Kullanılarak Hibrit Sınıflama ve Kestirim Eniyileme Tabanlı Sınıflama Metodunda K-En Yakın Komşu Metodundan Faydalanılması konularında araştırma yapılmıştır. Öğrenmeyi zorlaştıran verilerin elenmesi ile en iyi sınıflamayı yapmak amaçlanmıştır. Test işlemleri, University of California Irvine (UCI) makine öğrenmesi veri kümelerinin en bilinenlerinden beşi olan Iris, Breast Cancer, Glass, Yeast ve Wine ile yapılmıştır.

Pekel (2018), probleme yaklaşımlarına göre farklılık gösteren (sınıflandırma, tahmin, kümeleme) ve bu yüzden farklı problemlerde farklı başarılara sahip olan birçok makine öğrenmesi yöntemi bulunduğunu vurgulamış ve dört temel sınıflandırma algoritmasını (Karar Ağacı, Destek Vektörü Makineleri, Naive Bayes, Yapay Sinir Ağları) sunmuş ve hazır veri setindeki performanslarını karşılaştırmıştır. Naive Bayes Algoritmasının, veri setinde uygulanan diğer sınıflandırma yöntemlerinden daha iyi performans (%70,29) gösterdiği tespit edilmiştir.

Keskin (2018), literatürde her birinin kendi içinde karmaşık bir teoriye sahip oldukları görülen, Karar Ağacı, Naive Bayes, Rastgele Orman ve K-en yakın komşu sınıflandırma algoritmalarını R programında yazılan kodlar yardımıyla, farklı veri tiplerine uygulanması ile daha anlaşılır ve açık bir şekilde sunmayı hedeflemiştir. Ayrıca gerçek bir veri kümesi üzerinden, son dönemlerde makine öğrenmesi yöntemleri için son kullanıcı dostu yeniliklerle ön plana çıkan KNIME programı yardımıyla yukarıda bahsedilen dört makine öğrenme sınıflandırma algoritmasının bir performans karşılaştırması yapılmıştır.

***Büyük Veri Analizi***

Yardımcı (2011), çalışmasında makine öğrenmesi teknikleri ile kullanıcıya bilgiyi filtrelemesinde veya analiz etmesinde kolaylık sağlayan bir sistem sunulması amaçlanmıştır.

Hallaç (2014) çalışmasında, büyük veri ve bulut bilişim teknolojileri, büyük veri üzerinde paralel algoritmaların çalıştırılması ve dağıtık makine öğrenmesi algoritmalarının büyük veriye uygulanması incelenmiştir.

Erdem (2017) çalışmasında, büyük verinin işlenmesi ve analiz edilmesi için geliştirilen Apache Spark teknolojisi kullanılarak farklı büyük veriler üzerinde sınıflandırma, kümeleme ve aykırı değer algılama işlemlerinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, makine öğrenmesi algoritmalarını içeren Apache Spark'ın MLlib kütüphanesinden faydalanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan MLlib kütüphanesinde yer alan Naïve Bayes, K-means ve Gaussian Mixture yöntemleri ile büyük verilerin başarılı bir şekilde analiz edilmesi sağlanmış algoritmaların çalışma süreleri farklı veri boyutları kullanılarak tespit edilmiştir.

Keskin (2018), bulut servisi üzerinde büyük veri araçları kullanılarak büyük veride keşifçi veri analizi, büyük veri görselleştirmesi ve büyük veride makine öğrenmesi uygulamaları gerçekleştirmiştir. Uygulamada Amazon Web Servisi Elastic Map Reduce, Apache Hadoop, Apache Hive, Apache Spark ve R Studio kullanılmıştır. Makine öğrenmesi literatüründe yer alan ve sık kullanılan algoritmalar ele alınmış ve uygulama içinde performansları karşılaştırılmıştır.

Kavuncu (2018), internet üzerinden veya çevrimdışı olarak elde edilen büyük verinin saklanmasının oldukça zor olduğunu ve düzenlenerek bir araya getirilen verilerin makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemler ile anlamlandırılarak yeni veya öngörülemeyen veriler için doğru tahminlerde kullanılabileceğini ifade etmiştir. Çalışmasında, derin öğrenme yöntemi ve diğer makine öğrenmesi yöntemleri gerçek görüntülerden oluşan CIFAR-10 ve MNIST veri setleri üzerinde uygulanmıştır.

Çelebi (2018), büyük bilgi tabanları üzerinde çıkarım yapmak için yaklaşım sunmuştur. Bu yaklaşımlar, bilgi tabanını bir çizge olarak ele almakta ve bu çizgenin karakteristiğini elde etmek için öznitelikler oluşturmaktadır. Öznitelikler ise, makine öğrenmesi modellerini eğitmek için kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında biyolojik ve biyomedikal bilgi ağlarında varlıklar arasında yeni ilişkileri keşfetmek için bilgi çizgeleri kullanarak makine öğrenmesi temelli melez bir yaklaşım önerilmiştir.

Baysal (2019), geleneksel yöntemlerle işlenemeyecek boyut ve çeşitlilikteki veriler için geliştirilmiş olan dağıtık veri yönetim ve analiz araçlarını kullanarak makine öğrenmesi uygulamaları geliştirmiştir. Uygulamalar Google Cloud hizmeti kullanılarak oluşturulmuş Spark kümesi üzerinde pyspark kütüphaneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada iki farklı veri seti kullanılarak makine öğrenmesi uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

***Tüketici/Müşteri Tercihleri***

Ceylan (2018), çamaşır yumuşatıcı kategorisinde, tüketicilerin marka alım tercihlerinin sınıflandırmaya dayalı makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak belirlenebilmesini amaçlamıştır. Extreme Gradient Boosting ve Naive Bayes Sınıflandırma algoritmaları kullanılarak modellenmiştir. Veri analizi sırasında SQL ve R programı kullanılmıştır.

Günay (2018), çalışmasında makine öğrenmesi teknikleri ile telekomünikasyon sektöründeki müşterilerin üyelikten çıkıp çıkmayacağını tahmin etmiştir. Konu ile ilgili geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde en çok kullanılan yöntemler bulunmuş ve algoritmaların performansı ölçülmüştür. Bununla birlikte Lojistik Regresyon ve Naive Bayes yöntemleri kullanılarak yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu

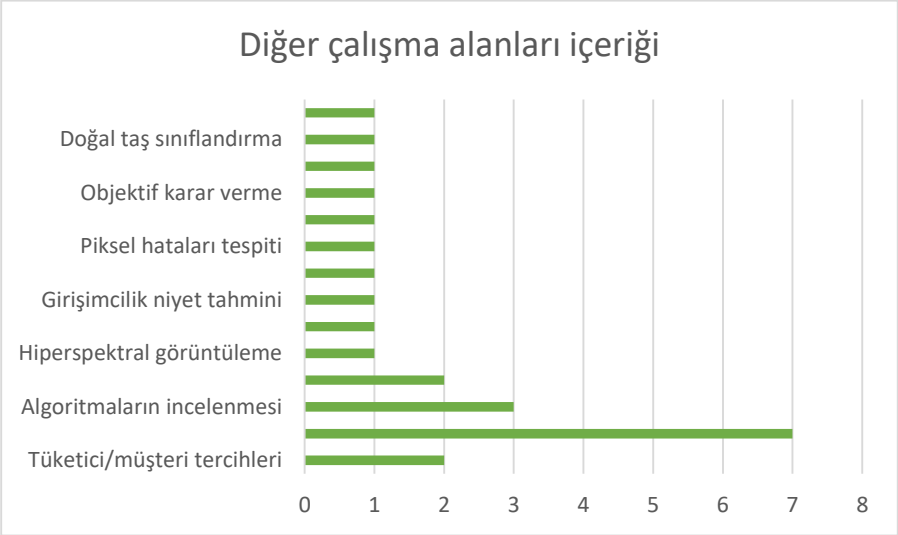
yeni yöntemin tahmin başarısının Naif Bayes ve Lojistik Regresyon yöntemlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

## BULGULAR

Çalışmada Türkiye'de makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak yapılan tez çalışmaları incelenmiştir. Bu amaçla ele alınan 146 tez çalışması ekonomi, enerji, inşaat, eğitim, sosyal, çevre, fen, ağ güvenliği/güvenlik, duygu analizi/metin sınıflandırma, el/yüz/jest tanıma, spor, ulaşım, sağlık ve diğer alanlar olmak üzere gruplandırılmıştır. Ayrıca, en çok hangi alanda çalışma yapıldığını daha anlaşılır bir şekilde ortaya koymak amacıyla Şekil 3'te görüldüğü üzere grafiklendirilmiştir.

**Şekil 3. Türkiye'de Makine Öğrenmesi Çalışma Alanları**

Şekil 3'teki grafiği incelediğimiz zaman, bahsi geçen alanlar içerisinde en çok çalışma sağlık alanında yapılmıştır. Ardından diğer alanlarda yapılan çalışmalar gelmekte ve ağ güvenliği, duygu analizi/metin sınıflandırma konularında da çokça çalışma bulunduğu anlaşılmaktadır. 'Diğer alanlar' diye ifade edilen alanda yapılan çalışmaları daha ayrıntılı incelemek amacıyla Şekil 4'te verilen grafik oluşturulmuştur.




**Şekil 4. Diğer Çalışma Alanları**

Diğer çalışma alanları içerisinde en çok 'Büyük verinin özetlenmesi, sınıflandırılması' konusu üzerinde durulmuştur. Problem türüne göre değişen algoritma türlerine eleştirel bir gözle bakılan, algoritmaların performanslarının kıyaslandığı ve tartışıldığı çalışmalar ikinci sırada yer almaktadır. Bunun sebebi, makine öğrenmesi ile alakalı çok fazla algoritma bulunmasıdır.

## SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Çalışma sonucunda elde edilen bilgiler ışığında makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak en fazla çalışma sağlık alanında yapılmıştır. Sağlık verilerinin karmaşıklığı karşısında geleneksel veri analiz yöntemleri yetersiz kalabilmektedir. Bu sebeple karmaşık yapıların anlaşılması, çözümlenebilmesi için makine öğrenmesi yöntemlerine başvurulur. Sağlık alanı, makine öğrenmesi yöntemlerinin sınırlı kullanıldığı ancak çok önemli kullanım potansiyeli olan alanlardan biridir. Sağlık alanında çok fazla çalışma yapılmasına rağmen Şekil 2'de görüldüğü üzere belli başlı hastalıklara/konulara daha çok yönelme olmuştur. Örneğin, diyabet, Parkinson hastalıkları ve kanser teşhisi konuları üzerinde çok fazla çalışma yapılmıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere veri tabanına erişim sağlanabilecek ayrıca ölüm riski taşıyan diğer hastalıklar da ele alınabilir. Diğer önemli alanlardan olan enerji, eğitim, fen vb. alanlarda çok fazla çalışma yapılmamıştır. Bu anlamda literatüre katkı sağlamak amacıyla gelecek çalışmalar bu alanlarda yapılabilir.

Çalışmanın amacı doğrultusunda, tez çalışmalarının daha çok hangi alanda olduğunu, genel olarak hangi makine öğrenmesi algoritmalarının kullanıldığı incelenmiştir. Sonuç olarak; sağlık alanında en fazla tez yapıldığı ve K-en yakın komşu, Destek

vektör makineleri, Karar ağaçları, Naive Bayes algoritmalarının sıklıkla kullanıldığı tespit edilmiştir.

**KAYNAKLAR**

Abuzarifa B.Z.T.T.T. (2018). Estimation of gravity direction using a machine learning model trained on imperfect imu data, M.Sc. Thesis, Gebze Technical University, Department of Computer Engineering, Gebze.

Acı, M. (2009). Development of a hybrid classification method for machine learning, M.Sc. Thesis, Çukurova University, Department of Computer Engineering and Computer Science and Control, Adana.

Acı, M. (2016). Prediction of carbon nanotube atomic coordinates based on machine learning algorithms, Ph.D. Thesis, Çukurova University, Department of Computer Engineering and Computer Science and Control, Adana.

Akar, A. (2017). Machine learning based anomaly detection technique for in-vehicle networks, M.Sc. Thesis, Çankaya University, Department of Electronic and Communication Engineering, Ankara.

Akı, M.O. (2017). Sürücü uykululuğunun gerçek zamanlı görüntü işleme ve makine öğrenmesi teknikleri ile tespitine yönelik bir sistem tasarımı ve uygulaması, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Akpınar, K.O. (2019). Ethercat tabanlı bir SCADA sisteminde kural ve makine öğrenmesine dayalı saldırı ve anomali tespiti, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Aksoy, F. (2018). Short-term forecasting of wind power production using machine learning and deep learning methods, M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University, Department of Electrical Engineering, İstanbul.

Aktaş, F. (2018). Nesneye yönelik sistemlerde kusurlu sınıfların öngörülmesi için makine öğrenmesi temelli bir yöntem oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aktepe, Ç. (2018). Algorithmic trading on cryptocurrency markets using machine learning techniques, M.Sc. Thesis, Boğaziçi University, Department of Industrial Engineering, İstanbul.

Alamin, M. (2016). Power consumption estimation using in-memory database computation, M.Sc. Thesis, Kadir Has University, Department of Information Technology, İstanbul.

Al-Asadi, M.A.M. (2018). Decision support system for a football team management by using machine learning techniques, M.Sc. Thesis, Selçuk University, Department of Computer Engineering, Konya.

Alnawas, A.D.M. (2019). Sentiment analysis in Iraqi Arabic dialects based on distributed representations of sentences and machine learning approach, Ph.D.

Thesis, Gazi University, Department of Computer Engineering and Computer Science and Control, Ankara

Alp, E.C. (2018). Makine öğrenmesi yöntemleriyle akan görüntülerden otomatik aktivite sınıflandırma, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Altan, S.N. (2018). Metin sınıflandırma için makine öğrenmesi tekniklerine dayalı bir yöntem geliştirme, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Ardıç, E. (2018). Machine learning techniques for the estimation of material properties from light spectrum data, M.Sc. Thesis, Gebze Technical University, Department of Computer Engineering, Gebze.

Ataş, M. (2011). Hyperspectral imaging and machine learning of texture foods for classification, Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Department of Computer Engineering and Computer Science and Control, Ankara.

Ayata, D. (2018). Applying machine learning and natural language processing techniques to twitter sentiment classification for turkish and english, M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University, Department of Computer and Control Engineering, İstanbul.

Balta, A. (2018). Makine öğrenmesi teknikleri ile ekolojik verilerin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Başkaya, F. (2017). Kısa metinlerden sosyal duygu sınıflandırma için makine öğrenmesi tabanlı yöntemlerin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Baysal, E. (2019). Dağıtık veri yönetim ve işleme mimarisi kullanılarak makine öğrenmesi uygulamaları gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Belek, Y.U. (2018). Safe path planning with machine learning, M.Sc. Thesis, İstanbul University, Department of Computer Engineering, İstanbul.

Bilgili, L. (2018). Gemi yaşam döngüsünde operasyonel gaz emisyonlarının makine öğrenmesi yöntemiyle tahmini, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bilgilioğlu, S.S. (2018). Makine öğrenmesi teknikleri ile mekansal karar destek sistemlerinin geliştirilmesi: Aksaray ili örneği, Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

Bulut, M.A., 2019. Kredi analizinde makine öğrenmesi kullanımı: Tarımsal kredilerde uygulama örneği, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.

Büber, E. (2017). Oltalama saldırılarında kullanılan URL'lerin makine öğrenmesi teknikleri ile tespit edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ceylan, T. (2018). Perakende sektöründe makine öğrenmesine dayalı yaklaşımlar, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çelebi, R. (2018). Biyomedikal bilgi çizgeleri için makine öğrenmesi tabanlı anlamsal bağ tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Çelen, P.D. (2017). Makine öğrenmesi tekniği ile konuşma kayıtlarının hızlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Çelik, A. (2019). LCD piksel hatalarının makine öğrenmesi yöntemleri ile tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Çelikel, A.D. (2018). Stock value prediction using machine learning and text mining, M.Sc. Thesis, Kadir Has University, Department of Management Information Systems, İstanbul.

Çetingöz, M. (2011). Makine öğrenmesi ile Türkçe haber metinlerinde anahtar ifade çıkarımı, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Çınar, A.M. (2019). Çok kanallı optik görüntülerin makine öğrenmesi teknikleri ile sınıflandırılması ve analizi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Çiftçi, F. (2018). Öznitelik seçme ve makine öğrenmesi yöntemleriyle eğitmen performansının tahmin edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Çizer, E.B. (2018). Makine öğrenmesi teknikleriyle kredi risk analizi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Dabanoğlu, M.B. (2018). Makine öğrenmesi ile gerçek zamanlı videodan yüz ifadesi analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Das, K., & Behera, R. N. (2017). A survey on machine learning: concept, algorithms and applications. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, *5*(2), 1301-1309.

Demir, H. (2018). Makine öğrenmesi yöntemleri ile arı alt türlerinin sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.

Demirel, U. (2019). Hisse senedi fiyatlarının makine öğrenmesi yöntemleri ve derin öğrenme algoritmaları ile tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gümüşhane.

Demirhan, T. (2015). Makine öğrenmesi algoritmalarının karmaşıklık ve doygunluk analizinin bir veri kümesi üzerinde gerçekleştirilmesi, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Doğrusöz, A. (2007). Makine öğrenmesi teknikleri ile metinlerin otomatik olarak sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Erdem, Y. (2017). Büyük verinin makine öğrenmesi yöntemleri ile apache spark teknolojisi kullanılarak sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Garip, E. (2017). OECD ülkelerindeki karbondioksit (co2) emisyonunun makine öğrenmesi ile tahmin edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ghahremanlou, N.S. (2012). Prediction of maximum oxygen uptake from maximal and non-exercise variables using machine learning methods, M.Sc. Thesis, Çukurova University, Department of Computer Engineering and Computer Science and Control, Adana.

Gülaçar, H. (2018). Nesnelerin interneti platformları için makine öğrenmesi tabanlı bir tahmin modülü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Güldan, S. (2014). Makine öğrenmesi yöntemleriyle gerçek olmayan tüketici yorumlarının tespiti, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Günay, M. (2018). Makine öğrenmesiyle müşteri kayıplarının tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Güneş, A. (2017). Hiperspektral görüntüleme ve makine öğrenmesi teknikleri ile küflü kuru incirlerin tahribatsız olarak tespiti, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Güvenç, B. (2016). Machine learning methods in natural language processing, M.Sc. Thesis, Boğaziçi University, Computer Engineering and Computer Science and Control, İstanbul.

Hallaç, İ.R. (2014). Büyük veri analizinde dağıtık makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Hassan, Y.A.H. (2017). Improving indoor positioning system by using wi-fi fingerprint with machine learning methods, M.Sc. Thesis, Siirt University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Siirt.

Işık, M. (2019). Müşteri yorumları üzerinde metin analitiği çalışmaları ve yorumların makine öğrenmesi algoritmaları ile modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

İşyapar, M.T. (2013). Classification of electricity customers based on real consumption values using data mining and machine learning techniques and its corresponding applications, M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Department of Computer Engineering and Computer Science and Control, Ankara.

Kalaycı, S. (2018). Makine öğrenmesi yöntemleri ile kredi risk analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kanmaz, M. (2018). The effect of financial news on bist stock prices: A machine learning approach, M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Department of Economics, Ankara.

Kapar, F. (2018). Phıshıng saldırısında kullanılan web sitelerinin makine öğrenmesi algoritmaları yardımıyla tespiti ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

Karabıyık, M.A. (2018). Akademik yayınlar için makine öğrenmesi tabanlı arama motoru tasarlanması ve uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Karabina, A. (2017). Konuşmacı tanımada makine öğrenmesi tekniklerinin kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

Karataş, B. (2018). Araç sürüş verilerinden makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak sürücü sınıflandırma, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kavuncu, S.K. (2018). Makine öğrenmesi ve derin öğrenme: Nesne tanıma uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Kaya, Ç. (2017). Saldırı tespit sistemlerinde makine öğrenmesi tekniklerinin kullanılması: Karşılaştırmalı performans analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kaya, E. (2018). Machine learning techniques for surface electromyography based hand gesture recognition, M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University, Department of Control and Automation Engineering, İstanbul.

Kaytan, M. (2017). Web tabanlı oltalama saldırılarının makine öğrenmesi yöntemleri ile tespiti, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

Keçeli, H. (2016). Haber kaynaklarından makine öğrenmesi ile Türkiye genelinde zaman bazlı elektrik enerjisi tüketim modeli, Yüksek Lisans Tezi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Keskin, A.K. (2018). Makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmalarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sinop Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sinop.

Keskin, M.V. (2018). Büyük veride makine öğrenmesi uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Khalifa, I.A.K. (2019). Still image steganography detection based on machine learning techniques, M.Sc. Thesis, Siirt University, Department of Computer Engineering and Computer Science and Control, Siirt.

Kurt, E.M. (2019). Apache spark ve makine öğrenmesi algoritmaları ile ağ saldırısı tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Kutlugün, M.A. (2017). Gözetimli makine öğrenmesi yoluyla türe göre metinden ses sentezleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Mbarak, W.K. (2017). Using machine learning approaches to construct correlations for cohesive soils using in-situ and laboratory data, M.Sc. Thesis, Boğaziçi University, Department of Civil Engineering, İstanbul.

Monhamady, K.K. (2018). Developing machine learning methods for business intelligence, M.Sc. Thesis, Abdullah Gül University, Department of Electrical and Computer Engineering, Kayseri.

Namlı, Ö.H. (2018). Film endüstrisinde makine öğrenmesi algoritmaları ile yeni ürünlerin gelir tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Onan, A. (2016). Görüş sınıflandırma için makine öğrenmesi algoritmalarına dayalı bir yöntem tasarımı ve gerçekleştirimi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Orakçı, M. (2017). Veri madenciliği ve makine öğrenmesi kullanılarak suç analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Ankara.

Oruç, S.N. (2019). Prediction of entrepreneurial intentions by using machine learning, M.Sc. Thesis, Bahçeşehir University, Department of Entrepreneurship and Innovation Management, İstanbul.

Öz, E. (2019). Empirical Studies on Price Determinants of Online Auctions with Machine Learning Applications, Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Department of Economics, Ankara.

Özdağ, F.S. (2017). Makine öğrenmesi yöntemiyle ağ ataklarının tespiti, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özhan, O. (2014). Makine öğrenmesi ile uzaktan eğitim öğrencilerinin performanslarının değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özkan, T.K. (2015). Makine öğrenmesi yöntemleri ile vakıf üniversiteleri doluluk tahminlemesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Öztel, İ. (2018). Kısmi ve tam yüz görüntüleri üzerinde makine öğrenmesi yöntemleriyle yüz ifadesi tespiti, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Öztürk, M. (2018). Makine öğrenmesi ve görüntü işleme tekniklerini kullanarak drone ile yaprak sınıflandırma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Pekel, E. (2018). Farklı makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

Peynirci, G. (2018). Malware detection for the android platform using machine learning techniques, Ph.D. Thesis, Yaşar University, Department of Computer Engineering, İzmir.

Rıhtım, M.F. (2018). Makine Öğrenmesi Bazlı Arama Motoru, Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sarı, Y. (2017). Ses kayıtlarındaki insan seslerinin makine öğrenmesi yöntemleriyle tanınması ve sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Sayın, G. (2019). Halka açık finans dışı şirketlerde süreklilik riskinin makine öğrenmesi ile öngörülmesi, Doktora Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Shalev-Shwartz, S., and Ben-David, S., (2014). Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms, *Cambridge University Press,* Cam.

Soylu, T. (2018). Makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak FPGA tabanlı gerçek zamanlı yeni bir trafik sınıflandırma mimarisi tasarımı, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Sümbül, F. (2008). Determination of protein-protein binding sites using machine learning tools, M.Sc. Thesis, Boğaziçi University, Department of Chemical Engineering, İstanbul.

Şahinarslan, F.V. (2019). Makine öğrenmesi algoritmaları ile nüfus tahmini: Türkiye örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Şirin, V. (2012). Machine learning methods for opponent modeling in games of imperfect information, M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Department of Computer Engineering and Computer Science and Control, Ankara.

Taşpınar, M. (2017). A feature based simple machine learning approach with word embeddings to named entity recognition on tweets, M.Sc. Thesis, Galatasaray University, Department of Computer Engineering, İstanbul.

Tekcan, F.M. (2018). Makine öğrenmesi ile hiperspektral görüntü sınıflandırma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Temiz, M. (2018). Doğal taş karolarının görüntü işleme ve makine öğrenmesi teknikleri ile sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.

Topuz, M.D. (2014). Makine öğrenmesi algoritmaları ve anomali tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tozlu, İ. (2019). Simplifying balance sheet adjustment process in commercial loan applications using machine learning methods, M.Sc. Thesis, İstanbul Technical University, Department of Computer Engineering, İstanbul.

Turhal, U. (2016). Yüz resimlerinden çoklu makine öğrenmesi yaklaşımları ile yaş ve cinsiyet bilgisinin tespit edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.

Türkoğlu, S. (2017). Developing oxygen amount prediction model of basic oxygen furnace steelmaking process with machine learning algorithms, M.Sc. Thesis, Çukurova University, Department of Computer Engineering and Computer Science and Control, Adana.

Ulutaş, A.E. (2018). Protein fragment selection using machine learning, M.Sc. Thesis, Abdullah Gül University, Department of Electrical and Computer Engineering, Kayseri.

Uzel, E. (2018). Makine öğrenmesi ile FOREX piyasalarında alım satım kararları uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Ünsal, Ö. (2011). Mesleki alan seçimlerinin makine öğrenmesi algoritması kullanılarak belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Ankara.

Yardımcı, T. (2011). Makine öğrenmesi teknikleri ile RSS besleme yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Ankara.

Yarmatov, B. (2017). Hibrid makine öğrenmesi teknikleri ile yol yüzey durumunun modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Yıldırım, M.Z. (2017). Makine öğrenmesi yöntemleri ile network üzerinde saldırı tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Yıldız, O. (2014). Makine öğrenmesi ile uzaktan eğitim öğrencilerinin performanslarının değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yoldaş, M. (2011). Predicting the effect of hydrophobicity surface on binding affinity of pcp-like compounds using machine learning methods, M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Department of Computer Engineering and Computer Science and Control, Ankara.

Yurdakurban, V. (2018). Yazılım projelerinde iş gücü tahmini için makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

# PASSIVE THERMAL MANAGEMENT OF A SIMULATED BATTERY PACK AT DIFFERENT DISCHARGE RATES

Serkan COŞKUN, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Enerji Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı, serkancoskn0@gmail.com

Ümit Nazlı TEMEL, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendsiliği Bölümü, untemel@cumhurieyet.edu.tr

**ABSTRACT**: In this study, a thermally enhanced energy storage material is obtained through increasing the low thermal conductivity of the RT-44 organic phase change material (PCM) with a phase change temperature of 41-44 °C by 227.5% via the addition of 7% graphene nanoplatelets (GNP). The thermal management of the obtained 7% GNP / RT-44 composite in a simulated battery pack was examined in terms of temperature rise prevention and maximum temperature difference criteria. At 1.30W and 2.75W heating rates, both RT-44 and 7% GNP / RT-44 passive thermal protection have been found to keep the maximum temperature of the battery pack below 50$^{o}$C during the entire heating period. For a battery pack operating at 3.90 W, it was found that the duration of maximum temperature staying below 50 °C was increased 9.1 times than the unprotected battery pack and 2.3 times than the RT-44 protected battery pack. It was determined that the maximum temperature difference across the battery pack can be kept below 5 °C for both RT-44 and 7%GNP/RT-44, which is a critical value for thermal protection of battery. However, RT-44 has been shown to be unsuccessful in contrast to 7% GNP/RT-44 in terms of maximum temperature and temperature difference in discharge/cooling cycles.

**Key words:** battery pack, thermal management, phase change material, nanoparticle

# FARKLI DEŞARJ HIZLARINDA ÇALIŞTIRILAN SİMÜLATİF BİR BATARYA PAKETİNİN PASİF TERMAL KORUNUMU

**ÖZET:** Bu çalışmada; faz değişim sıcaklığı 41-44 $^{o}$C arasında olan RT-44 organik faz değişken malzemesinin düşük ısıl iletkenlik problemi, içerisine katkılanan %7 Grafen nanoyaprak (GNP) sayesinde %227.5 civarında arttırılarak termal olarak iyileştirilmiş bir enerji depolama malzemesi elde edilmiştir. Elde edilen %7 GNP/RT-44 kompozitinin simülatif bir pil paketi içerisindeki termal yönetimi, sıcaklık artışını önleme ve maksimum sıcaklık farkı kriterleri açısından incelenmiştir. 1.30W ve 2.75W ısıtma hızlarında gerek RT-44 gerekse de %7 GNP/RT-44 pasif termal korumasının simülatif batarya paketi maksimum sıcaklığını tüm ısıtma süresince 50$^{o}$C'nin altında tutuğu belirlenmiştir. 3.90W ısıtma hızında çalışan simülatif pil paketi için maksimum

sıcaklığın 50 °C'nin altında kalma süresinin korumasız pil paketine göre 9.1 kat, RT-44 korumalı pil paketine göre 2.3 kat uzatıldığı tespit edilmiştir. Pil paketi boyunca maksimum sıcaklık farkının hem RT-44 hem de %7 GNP/RT-44 koruması için kritik değer olan 5 °C'nin altında tutulabildiği belirlenmiştir. Bununla birlikte RT-44'ün ısıtma/soğutma çevrimlerinde maksimum sıcaklık ve sıcaklık farkı açısından %7 GNP/RT-44'ün aksine başarısız olduğu gösterilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** pil paketi, termal koruma, faz değişken malzeme, nanoparçacık

## GİRİŞ

Lityum-iyon piller; yüksek enerji yoğunluğu ve özgül gücü, yüksek deşarj voltajı ve uzun şarj/deşarj çevrim ömrü gibi avantajlarından dolayı güç gerektiren sistemler için en uygun güç kaynaklarından birisidir(Jarrett & Kim, 2011)(Lin, Xu, Chang, & Liu, 2015). Gerekli güç gereksinimini sağlamak için Lityum-iyon piller seri ve paralel bağlanarak pil paketi haline getirilmektedirler. Pil hücrelerinin deşarj edilmesi sırasında gerek ohmic gerekse de kimyasal enerji dönüşümüne bağlı olarak önemli miktarda ısı üretimi gerçekleşmektedir. Pil içerisinde üretilen ısı, pilin çalışması sırasında önemli derecede sıcaklık artışına maruz kalmasına sebep olmaktadır (Hémery, Pra, Robin, & Marty, 2014)(Qu, Li, & Tao, 2014). Yüksek çalışma sıcaklığı Lityum iyon pillerin en önemli dezavantajı olup, pil paketi içerisinde termal dengesizlik, performans ve kapasite kaybı, şarj/deşarj ömrünün kısalması ve patlama riski gibi birtakım olumsuzluklara neden olmaktadır (Duan & Naterer, 2010). Lityum-iyon pil paketlerinden faydalanma veriminin arttırılabilmesi için optimum çalışma sıcaklığının 20°C-50°C aralığında, paket boyunca hücreler arasındaki sıcaklık farkının 5°C'den düşük tutulması gerekmektedir. Bu durum, lityum-iyon paketlerinin, çalışması sırasında termal olarak korunmasını gerektirmektedir.

Literatürde pil paketlerini termal olarak korumak amacıyla farklı yöntemler kullanılmıştır. Sıvı ve hava soğutmalı aktif soğutma sistemlerinin; sistem karmaşıklığı, maliyet, ek güç gereksinimi (fan veya pompa) ve pil paketi içerisinde düzgün sıcaklık dağılımı sağlayamama gibi dezavantajlara sahip oldukları belirlenmiştir(Zichen Wang, Zhang, Jia, & Yang, 2015)(Ling, Wang, Fang, Gao, & Zhang, 2015)(L. Fan, Khodadadi, & Pesaran, 2013)(Sabbah, Kizilel, Selman, & Al-Hallaj, 2008). Son yıllarda, Faz Değişken Malzeme(FDM) kullanımına dayalı pasif termal koruma yöntemleri araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Organik FDM'ler (parafinler), yüksek enerji depolama kabiliyetlerine ek olarak zehirli ve aşındırıcı etki içermemesi, düşük maliyet gibi birtakım avantajlarından dolayı uygulamalarda en çok tercih edilen FDM türüdür (Sharma, Tyagi, Chen, & Buddhi, 2009)(Yuan, Li, Zhang, Cao, & Yang, 2016). Organik FDM'lerin Lityum-iyon pillerin termal korumasında kullanılabileceği fikri ilk defa Al-Hallaj ve arkadaşları (Hallaj & Selman, 2000) tarafından önerilmiştir. Bununla birlikte organik FDM'lerin bilinen en önemli dezavantajı ısıl iletkenliklerinin düşük olmasıdır. Lityum-iyon pillerin termal yönetiminde FDM ve batarya arasındaki temas sıcaklığını kontrol etmek önemlidir.

Temas sıcaklığı ve pilde üretilen ısının FDM içerisine transfer edilmesi, FDM ısıl iletkenliği ile doğrudan ilişkilidir (Bahiraei, Fartaj, & Nazri, 2017). Bu nedenle organik FDM'lerin yüksek enerji depolama ve düşük ısıl iletkenlik kabiliyetleri arasındaki çelişkiyi çözmek için termal olarak geliştirilmesi gerekmektedir. Organik FDM'lerin ısıl iletkenliklerinin arttırmak için içerisine yüksek ısıl iletkenliğe sahip birçok malzeme katılmıştır (Cui, 2012)(Zhou & Zhao, 2011)(Zhou & Zhao, 2011)(Zhou & Zhao, 2011). Batarya paketi termal korunumu için böyle bir FDM kompozitinin kullanılması durumunda, kompozit bütününün ısı absorblama verimi artacağından paket içerisinde daha homojen bir ısı dağılımı elde edilecektir (Rao & Wang, 2011). Bu olay aynı zamanda, pil paketinin optimum sıcaklıkta tutulma süresini uzatacaktır.

Metal köpükler; yüksek ısıl iletkenlik, gözenekli yapısı nedeniyle FDM kompozitlerin katı iskeletini oluşturmak için kullanılmışlardır (Bhattacharya, Calmidi, & Mahajan, 2002)(Giuliano, Prasad, & Advani, 2012)(Baby & Balaji, 2013). Batarya paketinin termal korumasında Alüminyum köpük/FDM kompoziti kullanıldığında koruma yapılmayan pakete göre maksimum sıcaklık %50 oranında azaltılmıştır (Khateeb, Amiruddin, Farid, Selman, & Al-Hallaj, 2005)(Kizilel et al., 2008). Benzer sonuçlar Cu/FDM kompozitleri için de elde edilmiştir(Li, Qu, He, & Tao, 2014)(Rao, Huo, Liu, & Zhang, 2015). Son yıllarda genişletilmiş grafit/FDM kompozitleri; yüksek ısıl iletkenlik, düşük ağırlık, korozyona karşı direnç ve kullanım kolaylığı açısından batarya paketlerinin termal korumasında yaygın olarak tercih edilmiştir. R Zhao ve arkadaşları (R. Zhao, Gu, & Liu, 2017) metal köpüklerde görülen sıvı FDM sızıntısı probleminin, genişletilmiş grafit matrisi tarafından oluşturulan güçlü kılcal kuvvetler sayesinde önlendiğini tespit etmişlerdir. G. Jiang (Jiang, Huang, Liu, & Cao, 2017) genişletilmiş grafit/FDM kompozitinin, batarya paketi boyunca maksimum sıcaklığı önemli ölçüde azalttığını, maksimum sıcaklık farkını ise 1-2 $^{o}$C civarında tuttuğunu belirlemişlerdir. Köpük/FDM kompozitleri her ne kadar batarya paketlerinde etkin koruma sağlasa da köpük gözeneklerine emdirilen FDM miktarının sınırlı oluşu etkin koruma süresini önemli ölçüde kısaltmaktadır. Batarya paketlerinin pasif termal korunumu için önerilen diğer yöntem FDM içerisine metal parçaların ilave edilmesidir. Zhao ve arkadaşları (J. Zhao, Lv, & Rao, 2017) batarya paketinin termal korunmasında FDM içerisine yerleştirilen metal ısı borularının etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Batarya paketinin 50 $^{o}$C'nin altında çalışma süresinin sadece FDM kullanılması durumuna göre önemli derecede arttığını belirlemişlerdir. Benzer olarak Wang ve arkadaşları (Zhiwei Wang, Zhang, & Xia, 2017), FDM/kanatçık yapılarının batarya paketlerinin çalışma süresini sadece FDM kullanılmasına göre belirgin derecede uzattığını bildirmişlerdir. Buna karşılık FDM içerisine metal parçaların eklenmesinin sistem ağırlık/hacmini önemli derecede artırması ve sıvı FDM'nin kristalleşeme problemleri bu yöntemin önemli eksiklikleridir.

Son yıllarda nanoteknoloji alanındaki gelişmelere bağlı olarak sentezlenen nanoparçacıkların ısıl iletkenliği iyileştirmek için FDM içerisine belirli kütle bölüntülerinde katkılanmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Karbon tabanlı nanoparçacıkların; düşük yoğunluk, yüksek ısıl iletkenlik gibi özelliklerinden dolayı

FDM termal iyileştirmesinde diğer metal/metaloksit nanoparçacıklara göre daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte farklı şekillerdeki karbon tabanlı nanoparçacıkların FDM ısıl iletkenliğinin iyileştirilmesinde farklı etkilere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle levha biçiminde şekil yapısına sahip nanoparçacıkların FDM ısıl iletkenliğini artırmada daha etkin olduğu belirlenmiştir(L. W. Fan et al., 2013)(Liu, Su, Tang, & Fang, 2016). Karbon tabanlı nanoparçacıkların FDM'lerin termal iyileştirilmesine yönelik birçok çalışma olmasına rağmen iyileştirilmiş kompozitlerin batarya paketlerinin termal yönetiminde kullanılması henüz yeni bir konudur. Bu nedenle bu çalışma levha şekline sahip Grafen nanoyaprak parçacıklar (GNP) katkılanarak iyileştirilmiş FDM kompozitinin bir batarya paketinin pasif termal korumasında uygulanmasına odaklanmıştır. Çalışmada öncelikle %0, %3,%5 ve %7 kütle bölüntülerinde GNP ile katkılanan FDM kompozitlerinin termal özellikleri karakterize edilmiştir. Daha sonra en iyi termal özelliklere sahip GNP/FDM kompozitinin simülatif bir pil paketinin termal korumasındaki performansı elde edilerek sadece FDM ve doğal taşınım durumuyla karşılaştırılmıştır.

## MATERYAL VE METOD

### GNP/FDM Kompozitlerinin Hazırlanması ve Termal Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışmada enerji depolama malzemesi olarak 41-44 $^{o}$C aralığında erime sıcaklığına sahip bir organik FDM olan RT-44 (Rubitherm Tech., Germany) kullanılmıştır. RT-44'ün ısıl iletkenliğini arttırmak için kullanılan GNP nanoparçacıklar, 150 $m^2/g$ yüzey alanına ve 6-8 nm plaka kalınlığına sahip olup, Skyspring Nanomaterials şirketinden (USA) temin edilmiş ve herhangi bir ön işleme maruz bırakılmaksızın kullanılmıştır.

GNP/RT-44 kompozitlerini hazırlamak için eritme ve karıştırma işlemleri uygulanmıştır. Öncelikle bir cam kap içerisine konulan katı haldeki RT-44, ısıtma plakası üzerinde ısıtılarak tamamen eriyik hale getirilmiştir. Daha sonra eriyik RT-44 içerisine kütlece %0 (FDM), %3, %5 ve %7 bölüntülerini sağlayacak miktarda GNP eklenmiştir. Sıvı RT-44 içerisinde GNP nanoparçacıkların homojen dağılımlarını sağlamak için elde edilen karışım, 30 dakika boyunca 750 W (Sonics & Materials INC, ABD) gücündeki ultrasonik karıştırma cihazıyla karıştırma işlemine maruz bırakılmıştır.

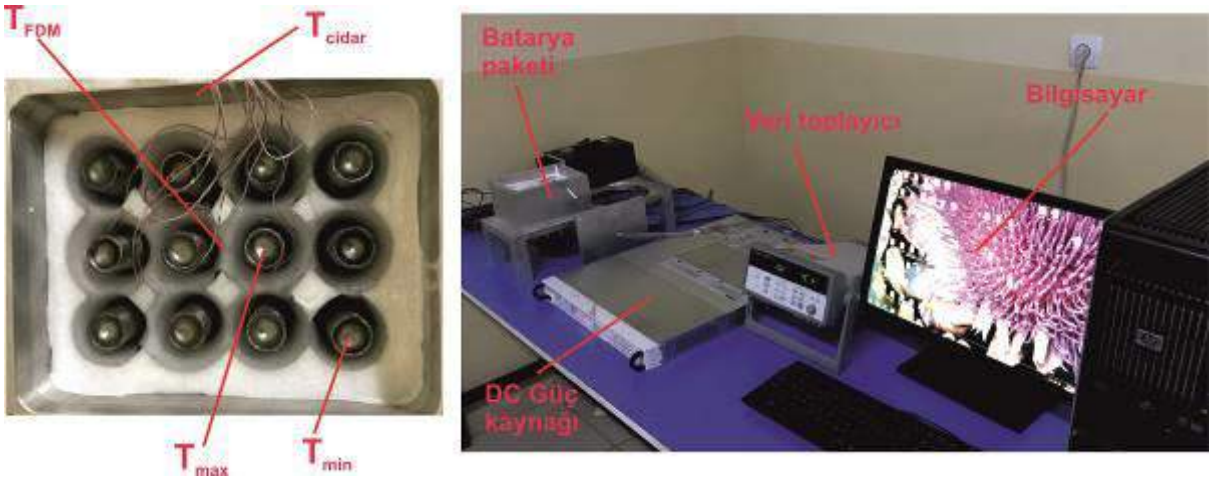
Elde edilen homojen karışımların ısıl iletkenlikleri, geçici doğrusal ısı kaynağı prensibine çalışan KD2 Pro cihazı (Decagon Devices Inc, USA) ile ölçülmüştür. KD2 Pro cihazına uygun katı faz ölçüm numuneleri ortasında 2.4 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda bir mil bulunan, 30 mm çapındaki ve 120 mm uzunluğundaki silindir biçimindeki bir kalıp kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm numuneleri kalıp içerisine dökülen sıvı haldeki karışımın oda koşullarında katılaşması sonucunda elde edilmiştir. KD2 Pro cihazı bir mikro kontrol birimi ve iğneden oluşmaktadır. İğne hem

ısıtıcı olarak hem de sıcaklık sensörü olarak çalışmakta olup, bir zaman periyodunda ısıtıcı boyunca geçen akım sırasındaki sıcaklık değişimini belirlemektedir. Ölçülen sıcaklıkların zaman periyodu için analiz edilmesi sonucunda ısıl iletkenlik katsayısı belirlenmektedir. Katı faz ölçümleri 20 $^{o}$C ortam sıcaklığında cihaza ait katı faz ölçüm iğnesi (TR1) aracılığıyla, sıvı faz ölçümleri 50 $^{o}$C ortam sıcaklığında sıvı ölçüm iğnesi (KS1) aracığıyla gerçekleştirilmiştir. Isıl iletkenlik ölçümleri bir iklimlendirme kabini içerisinde gerçekleştirilmiş olup her bir numune en az beş kez ölçülmüş ve ortalama değerler sonuç olarak verilmiştir. Cihazın ölçüm hassasiyeti 0.2-4W/mK aralığı için ±10%, 0.1-0.2W/mK aralığı için ise ±0.02W/mK'dir.

Elde edilen numunelerin erime sıcaklık ve gizli ısıları Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC-60 Shimadzu Corporation, Japonya) (DTK) cihazı aracılığıyla ölçülmüştür. Hazırlanan kompozitlerden çıkarılan toz parçacıkların hassas bir elektronik terazide kütle duyarlı olarak 5mg kütlesinde tartılıp, özel bir alüminyum kap içerisine konulması ve preslenmesi suretiyle DTK numuneleri hazırlanmıştır. Tüm kompozitler için DTK sıcaklık artış hızı 20 $^{o}$C'den başlayıp 80 $^{o}$C'ye ulaşıncaya kadar 2 $^{o}$C/dakika olarak ayarlanmıştır. Her bir kompozit için ölçümler en az üç kez gerçekleştirilmiş olup ortalama değerler sonuç olarak verilmiştir. DTK cihazının kalorimetrik hassasiyet ve sıcaklık doğruluğu ±.1% ve ±0.1$^{0}$C'dir.

**Simülatif Pil Paketinin Termal Performans Testleri**

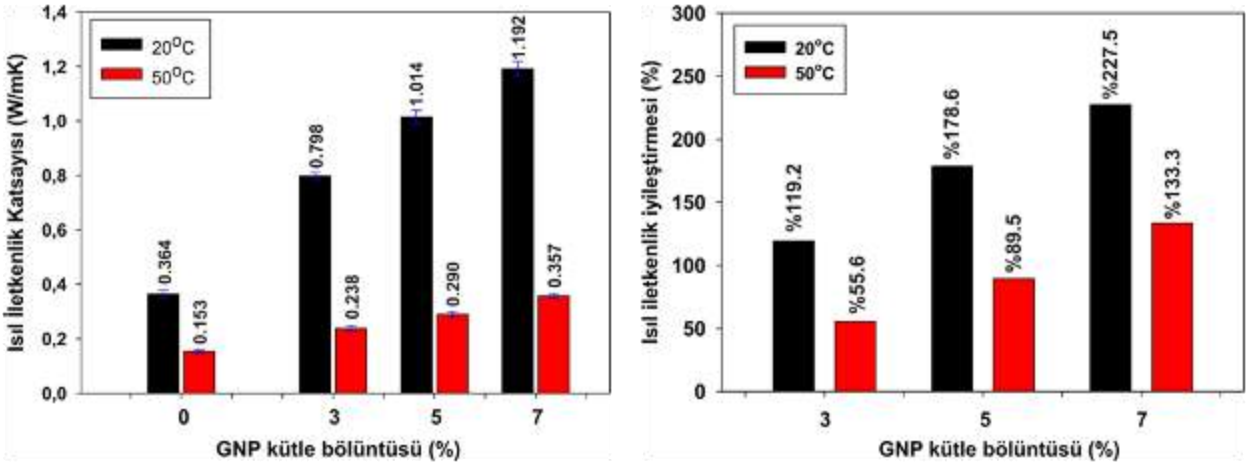
Şekil 1 simülatif bir pil paketi için kurulmuş olan deney düzeneğini göstermektedir. Deneysel düzenek; bir pil paketi, DC güç kaynağı, ısıl çiftler, veri toplama birimi ve bilgisayardan oluşmaktadır. Güvenlik ve kolaylık açısından pil paketinde gerçek Lityum-iyon piller yerine elektrikli ısıtıcılar kullanılarak simülatif bir pil paketi oluşturulmuştur. Pil yerine kullanılan elektrikli ısıtıcıların boyutları silindir biçimindeki 18650 Lityum-iyon pillerle (18mm çapında 65mm yüksekliğinde) aynı seçilmiştir. Simüle edilmiş pil paketinde, ısıtıcılar arasındaki etkileşimleri incelemek için, on iki ısıtıcı 4S3P (dört seri 3 paralel) biçiminde bir alüminyum kap içerisine Şekil 1'de gösterildiği gibi dikey olarak monte edilmiştir. Komşu ısıtıcılar arasındaki mesafe 36 mm olarak ayarlanmış olup böylelikle ısıtıcı başına 9 mm RT-44 (veya %7GNP/RT-44) düşmesi sağlanmıştır. Eriyik hale getirilen RT-44 veya %7 GNP/RT-44 kompozitleri, sıvı halde alüminyum kap içerisine dökülmüş ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılarak pasif termal korumalı pil paketleri oluşturulmuştur. Sıcaklık ölçümleri ± 0.5 $^{o}$C hassasiyete sahip J tipi ısıl çiftler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Isıl çiftler Şekil 1'de gösterildiği gibi belirli ısıtıcı yüzeylerine ve RT-44 (veya GNP/RT-44) soğutma ortamı içerisine ısıtıcı yarı yüksekliğinde olacak biçimde bağlanmış ve isimlendirilmiştir. Isıl çiftler tarafından ölçülen sıcaklık verileri bir veri toplayıcı (Agilent 34970A) ile 30 saniye aralıklarla toplanarak bilgisayara kaydedilmiştir.




**Şekil 1. Simültif Pil Paketi İçin Deneysel Düzenek**

## BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

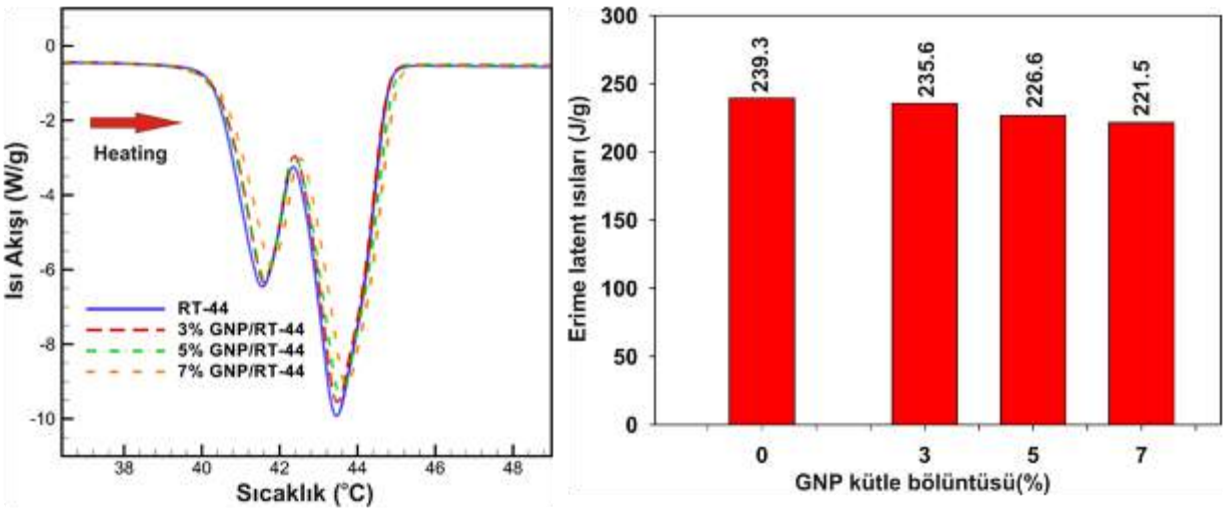
GNP/RT-44 kompozitlerinin katı haldeki (20 $^{o}$C) ve sıvı haldeki (50 $^{o}$C) ısıl iletkenlik ölçümleri ve ısıl iletkenlikte sağlanan yüzdelik iyileşme oranları Şekil 2'de verilmiştir. RT-44 organik faz değişken malzemesinin katı hal ısıl iletkenliği 0.364 W/mK iken sıvı haldeki ısı iletkenliği 0.153 W/mK olarak ölçülmüştür. Bu durum katılaşma sırasında kristalleşmeye bağlı olarak nanoparçacık/nanoparçacık ve nanoparçacık/RT-44 ara yüzünde daha etkin bir temas alanının oluşmasıyla ilişkilendirilebilir. RT-44 içerisine eklenen GNP kütle bölüntüsünün artmasına bağlı olarak ısıl iletkenlikte doğrusal bir artış olduğu görülmektedir. Bununla birlikte katı numunenin ısıl iletkenliğindeki artış, sıvı numuneye göre nanoparçacık kütle bölüntüsünün daha güçlü bir fonksiyonudur. Bu durum ısıl iletkenlikte görülen artışın eğiminden açıkça görülmektedir. En yüksek nanoparçacık kütle bölüntüsü eklenerek oluşturulan %7 GNP/RT-44 kompozitinin ısıl iletkenlikleri sırasıyla katı ve sıvı hal için 1.192 W/mK ve 0.357 W/mK olarak ölçülmüştür.




**Şekil 2. GNP Kütle Bölüntüsüne Bağlı Isıl İletkenlik Katsayıları ve Isıl İletkenlik İyileştirmeleri**

RT-44'e kıyasla, eklenen GNP miktarına bağlı olarak ısıl iletkenlikte elde edilen yüzdelik iyileşmeler hesaplanmış ve Şekil 2'nin sağ tarafında verilmiştir. Kütlece %3 GNP eklenen katı ve sıvı kompozitlerin ısıl iletkenliklerinde sağlanan iyileşmeler sırasıyla %119.2 ve %55.6 iken, en yüksek bölüntüye sahip %7 GNP/RT-44 kompoziti için bu iyileşmeler sırasıyla %227.5 ve %133.3 olarak belirlenmiştir. RT-44 içerisine eklenen GNP kütle bölüntüsünün artmasına bağlı olarak ısıl iletkenlikteki iyileşmenin gerek katı hal gerekse de sıvı hal için arttığı açıktır. Bununla birlikte eklenen GNP miktarının artmasına bağlı olarak katı kompozitlerin ısıl iletkenlik iyileşmelerinin sınırlanmaya başladığı görülmektedir. Buna ilave olarak %7 GNP/RT-44 kompozitinin sıvı halinde eklenen nanoparçacık miktarının kompozit akıcılık özelliğini de önemli ölçüde engellemeye başladığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle çalışmada en yüksek kütle bölüntüsüne, dolayısıyla en yüksek ısıl iletkenliğe sahip kompozit olarak %7GNP/RT-44 belirlenmiştir.

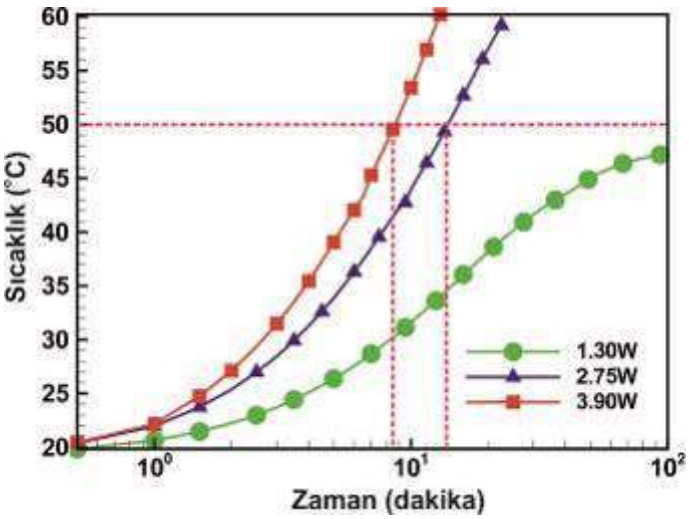
Organik FDM'lerin uygulamada kullanılmasını cazip kılan özelliği onların enerji depolama yetenekleridir. Isıl iletkenliklerinin düşük olması ise uygulamada etkin bir biçimde kullanılmalarının önündeki en önemli engeldir. Bu noktada, içerisine GNP ekleyerek ısıl iletkenliğini arttırdığımız GNP/RT-44 kompozitlerinin enerji depolama yeteneklerinin bu durumdan nasıl etkilendiğinin de belirlenmesi gerekmektedir. DTK analizleri, RT-44 ve GNP/RT-44 kompozitlerinin erime sıcaklıkları ve gizli ısılarını belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'de DTK analizleri sonucunda elde edilen termogram eğrileri RT-44 ve GNP/RT-44 kompozitleri için aynı grafik üzerinde verilmiştir. Termogram eğrilerinin benzer bir değişim göstererek ekzoterm tepesi oluşturdukları görülmektedir. Ekzoterm tepesinin taban çizgisinden ayrılma ve tekrar birleşme noktaları erime başlangıç ve erime sonlanma sıcaklıkları ile ilişkilidir. Gerek RT-44 gerekse de GNP/RT-44 kompozitleri için elde edilen termogram eğrilerinin analiz edilmesi sonucunda GNP eklentisinin, erime başlangıç ve sonlanma sıcaklıkları üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.




**Şekil 3. GNP Kütle Bölüntüsüne Bağlı Termogram Eğrileri ve Erime Gizli Isıları**

Bununla birlikte ekzoterm tepesi ile taban çizgisi arasında kalan alan gizli ısının bir göstergesi olup eklenen GNP kütle bölüntüsüne bağlı olarak gizli ısıların azaldığı görülmektedir. Bu sonuç, enerji depolama yeteneğine sahip RT-44 içerisine bu yetenekten yoksun GNP nanoparçacıklar eklenmesi için olağan bir durumdur. Ekzoterm eğrilerinin analiz edilmesi sonucunda elde edilen gizli ısı değerleri Şekil 3'ün sağ tarafında verilmiştir. RT-44'ün erime gizli ısısı 239.3 J/g olarak ölçülmüş olup içerisine %7 GNP eklenmesi durumunda %7.5 kötüleşme göstererek 221.5 J/g değerine düşmüştür. %7 GNP eklenen RT-44 kompozitinin gram başına enerji depolama kapasitesinin hatırı sayılır biçimde 200 J/g üzerinde olmasına ek olarak ısıl iletkenlikte elde edilen en yüksek iyileşme, onun simülatif batarya paketinde soğutma ortamı olarak kullanılmasının uygun olduğu sonucunu doğurmuştur.

Batarya paketlerinin deşarjı sırasında paket içerisindeki maksimum sıcaklık en önemli tasarım parametresi olup, bu sıcaklığın mümkün olduğunca 50 $^{o}$C'nin altında olması istenilen durumdur. Oluşturulan simülatif pil paketi içerisindeki maksimum sıcaklığa sahip hücrenin sıcaklık-zaman değişimi herhangi bir koruma olmaması durumu için Şekil 4'te verilmiştir. 1.30W ısıtma hızında 100 dakika sonunda maksimum sıcaklığın 50 $^{o}$C sınır değerinin altında olduğu görülmektedir. Özellikle ısıtma işleminin sonuna doğru batarya paketinin çevre ile termal dengeye gelmeye başlaması nedeniyle sıcaklık artışının yavaşladığı görülmektedir. Bununla birlikte ısıtma hızının 2.75W ve 3.90W'a çıkarılması durumunda sıcaklık artışının parabolik artışını devam ettirdiği ve kısa bir süre içerisinde 50 $^{o}$C'yi geçtiği görülmektedir. Öyle ki 2.75W ve 3.90W deşarj hızlarında 50 $^{o}$C'yi geçme süreleri sırasıyla 13.9 ve 8.7 dakika olarak belirlenmiştir.



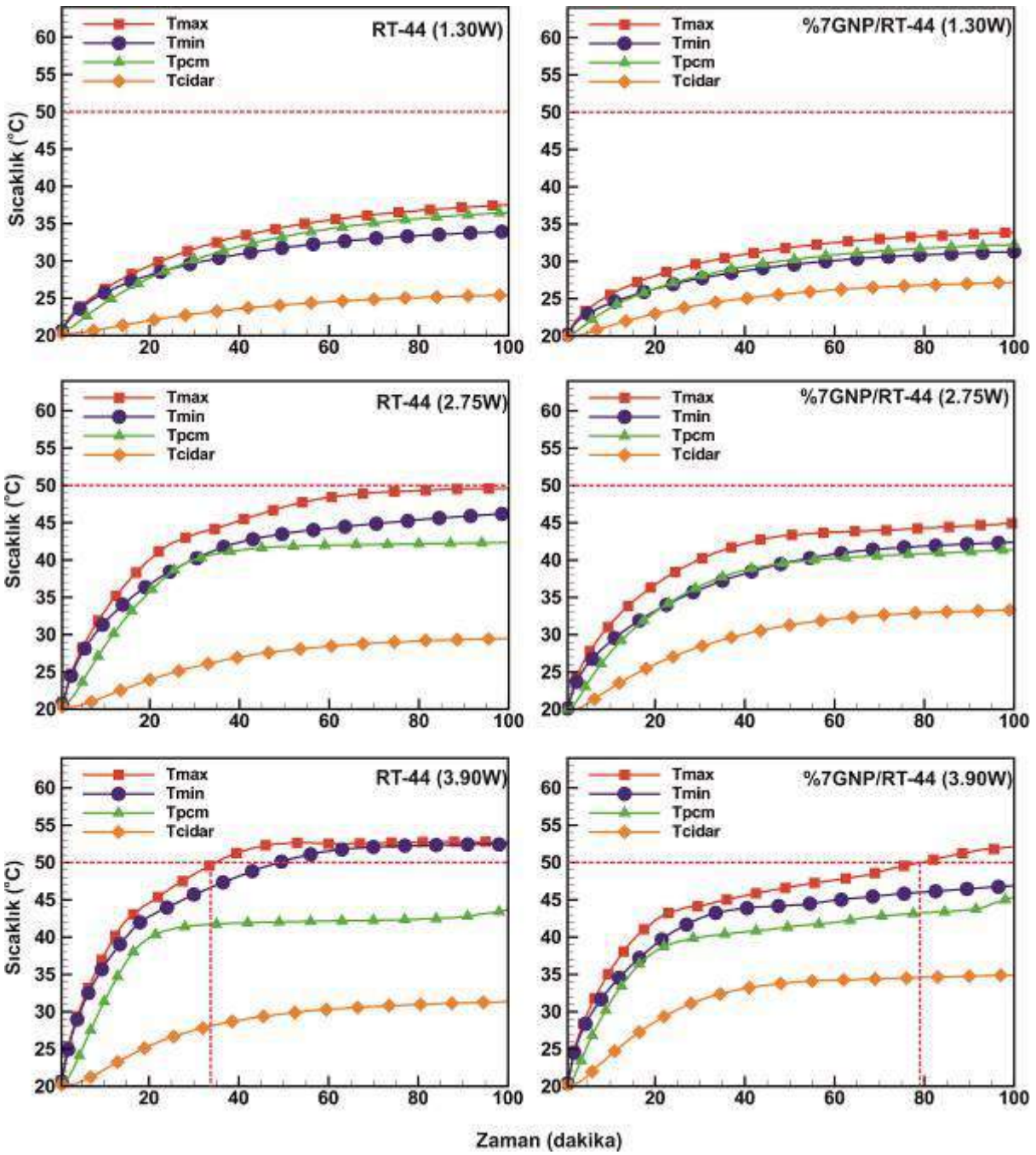

**Şekil 4. Pil Paketindeki Maksimum Sıcaklık Hücresinin Sıcaklık-Zaman Değişimi**

Bu süreyi uzatabilmek için RT-44 ve %7 GNP/RT-44 kullanımına dayanan pasif termal koruma sistemlerine sahip simülatif batarya paketlerinin performans test sonuçları Şekil 5'de verilmiştir. Simülatif batarya paketi için maksimum sıcaklığa sahip hücre, düşük ısı yayılım yeteneği nedeniyle paket orta bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Tam tersi olarak minimum sıcaklığa sahip hücrelerin de pil paketinin dış bölgesine yerleşmiş hücrelerde olduğu belirlenmiştir. Şekil 5, paket içerisindeki farklı noktaların sıcaklıklarının zamana göre değişimini göstermektedir. %7 GNP/RT-44 kompozitinin soğutma ortamı olarak kullanılması durumunda, RT-44 kullanılmasına göre maksimum sıcaklık artışının yavaşlatıldığı, cidar sıcaklık artışının ise hızlandırıldığı görülmektedir. Bu durum paket içerisindeki sıcaklık farklılığının daha dar bir bölgeye sıkışmasından net olarak anlaşılmaktadır. Bu farklılığın nedeni olarak ısıl iletkenlikte sağlanan iyileşme sayesinde ısıtıcı üzerinde açığa çıkan ısıl enerjinin daha etkin bir biçimde ısıtıcıdan uzaklaştırılması gösterilebilir. RT-44 pasif termal korumalı pil paketinde faz değişiminin başlamasıyla sıcaklık değişiminde meydana gelen yavaşlama belirli bir andan itibaren yerini sabit sıcaklık düzlüğüne bırakmaktadır. Bu durum RT-44 içerinde meydana gelen konvektif akımlar etkisiyle ısı transferinin efektif biçimde gerçekleşmeye başlamasıyla ilişkilidir. %7 GNP/RT-44 pasif termal korumasında faz değişiminin başlamasıyla sıcaklık değişiminde RT-44'e nazaran daha etkin bir yavaşlama olmasına rağmen sabit sıcaklık düzlüğü oluşmamaktadır. Bu durum nanoparçacık eklentisiyle ilişkili viskozite artışı yüzünden konvektif akımların bastırılması yüzündendir.

RT-44 ve %7 GNP/RT-44 pasif termal korumasına sahip simülatif batarya paketlerinin 100 dakika sonundaki maksimum sıcaklık hücresi açısından karşılaştırılmasına ait bulgular aşağıdaki biçimde sıralanabilir; i) 1.30W ısıtma hızında RT-44 pasif termal korumasına sahip batarya paketinin maksimum sıcaklık hücresi 37.5 $^{o}$C iken %7 GNP/RT-44 pasif termal korumasında bu değer 33.8 $^{o}$C'dir, ii) 2.75W ısıtma hızı ve RT-44 pasif termal korumasında maksimum sıcaklık hücresi 49.6$^{o}$C iken %7 GNP/RT-

44 korumasında maksimum sıcaklık hücresi 44.9$^{o}$C civarındadır, iii) 3.90W ısıtma hızında RT-44 pasif termal korumalı paketin maksimum sıcaklık hücresi 52.8$^{o}$C'ye ulaşırken, %7 GNP/RT-44 pasif korumalı paketin maksimum sıcaklık hücresi 52$^{0}$C'ye ulaşmaktadır. Özellikle 3.90W ısıtma hızında RT-44 ve %7 GNP/RT-44 kompoziti için maksimum sıcaklıklarının birbirine yaklaştığı görülmektedir.

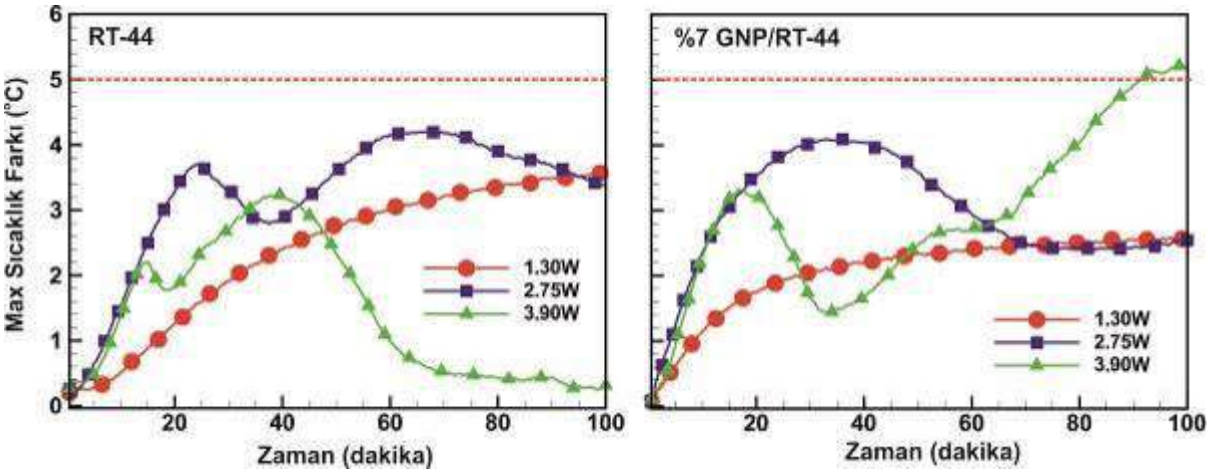
Pil paketleri için maksimum sıcaklık hücresinin 50$^{o}$C'ye ulaşma süresi etkin kullanım süresi olarak değerlendirilmektedir. RT-44 ve %7 GNP/RT-44 pasif termal korumalı simülatif batarya paketlerinde 1.30W ve 2.75W ısıtma hızlarında maksimum sıcaklık hücresi 50$^{o}$C'nin altında kalarak etkin koruma sağlamaktadır. Buna karşılık 3.90W ısıtma hızında her iki koruma sisteminde de 50$^{o}$C sınır değerinin aşıldığı görülmektedir. Herhangi bir koruma yapılmayan paket için 3.90W ısıtma hızında etkin kullanım süresinin 8.7 dakika olduğundan daha önce bahsedilmişti. RT-44 pasif termal korumaya sahip pil paketinde bu sürenin 34.8 dakikaya çıktığı belirlenmiştir. Etkin kullanım süresinde elde edilen iyileşmenin pil üzerinde açığa çıkan ısının hem duyulur ısı hem de gizli ısı olarak RT-44 tarafından depolanması sayesinde gerçekleştiği söylenebilir. RT-44 pasif termal korumalı batarya paketinin 3.90W ısıtma hızında etkin kullanım süresini, koruma yapılmayan batarya paketine kıyasla 4 kat arttırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte %7 GNP/RT-44 pasif termal korumasında, ısıl iletkenliğin arttırılması nedeniyle pil civarında biriken ısının soğutma ortamının daha uzak bölgelerine aktarılması ve kompozitin bütününe yayılması, etkin kullanım süresi daha da uzayarak 78.9 dakikaya ulaşmaktadır. Bu durumda %7 GNP/RT-44 korumasının 3.90W ısıtma hızında çalışan simülatif bir batarya paketinde, etkin kullanım süresini RT-44 termal korumalı sisteme göre 2.3 kat, koruma yapılmayan batarya paketine göre ise 9.1 kat arttırdığı söylenebilir.




**Şekil 5. Pil Paketindeki Farklı Noktaların Sıcaklık-Zaman Değişimi**

Pil paketi içerisindeki maksimum sıcaklık farkının ($\Delta T_{max}=T_{max}-T_{min}$) zamana göre değişimi Şekil 6'da verilmiştir. İdeal pil paketlerinde pil hücreleri arasındaki maksimum sıcaklık farklılığının 5°C'nin altında olması istenmektedir. Genel olarak tüm ısıtma hızları için maksimum sıcaklık farkının her iki yöntem için de 5°C'nin altında olduğu görülmektedir. Maksimum sıcaklık farkının gerek RT-44 gerekse de %7 GNP/RT-44 kullanılması durumunda 1.30W deşarj hızı için sürekli artış gösterdiği görülmektedir. Bu durum 1.30W ısıtma hızında çalışma süresi boyunca faz değişiminin henüz başlamamış olması nedeniyle gerçekleşmektedir. Bununla birlikte

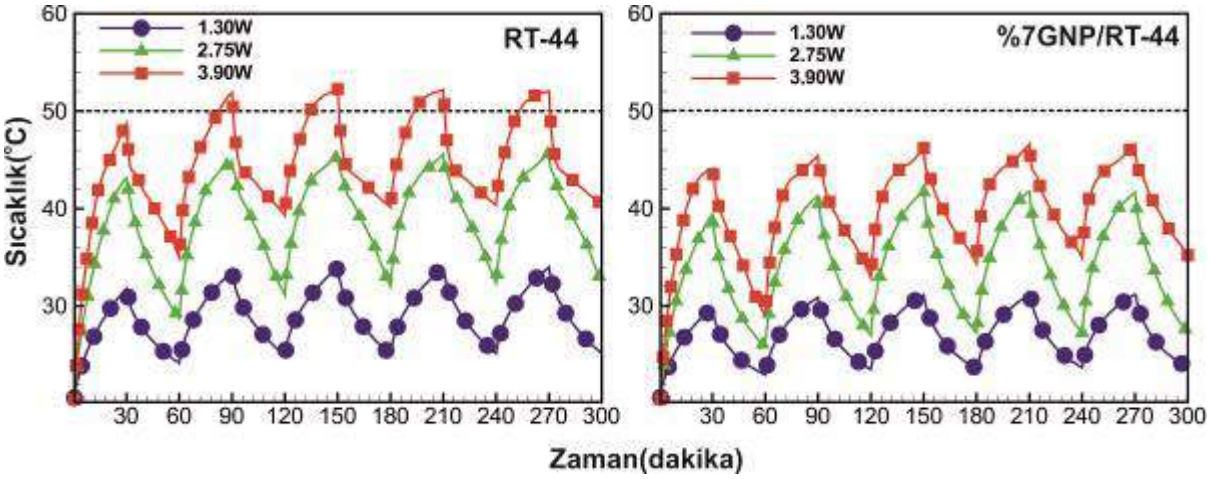
artan ısıl iletkenliğe bağlı olarak %7 GNP/RT-44'de maksimum sıcaklık farkı beklenen şekilde daha da azalmıştır. Faz değişiminin oluşmaya başladığı durumlarda (2.75W ve 3.90W ısıtma hızları) maksimum sıcaklık farkının zamana göre değişiminin farklı davranış gösterdiği görülmektedir. Bu durumlarda faz değişiminin öncelikle batarya paketinin iç bölgesindeki hücreler etrafında daha sonra da dış bölge civarındaki hücrelerde gerçekleştiği söylenebilir. Bu nedenle faz değişiminin başlamasıyla maksimum sıcaklık hücresinin artışının yavaşlamasına, bu esnada minimum hücrenin artışına devam etmesine bağlı olarak sıcaklık farkının azaldığı söylenebilir. Faz değişiminin sonlanmasının ardından maksimum sıcaklık hücresindeki artışın hızlanmasıyla sıcaklık farkının tekrar artışa geçtiği görülmektedir. RT-44 kullanımına dayalı pasif termal korumada maksimum sıcaklık hücresinin 50$^{o}$C'nin üzerine çıkması (3.90W deşarj hızı) durumunda oluşan sabit sıcaklık platosu, maksimum sıcaklık farkının son olarak önemli derecede azalmasına neden olmuştur. Bununla birlikte sabit sıcaklık platosunun %7 GNP/RT-44 korumasında görülmemesi, maksimum sıcaklık farkının artışına devam etmesine neden olmuştur. Öyle ki %7GNP/RT-44 pasif termal korumasında 3.90W deşarj hızında 90 dakikadan itibaren maksimum sıcaklık farkının 5$^{0}$C'nin üzerine çıktığı görülmektedir.




**Şekil 6. Pil Paketindeki Hücreler Arası Maksimum Sıcaklık Farkı**

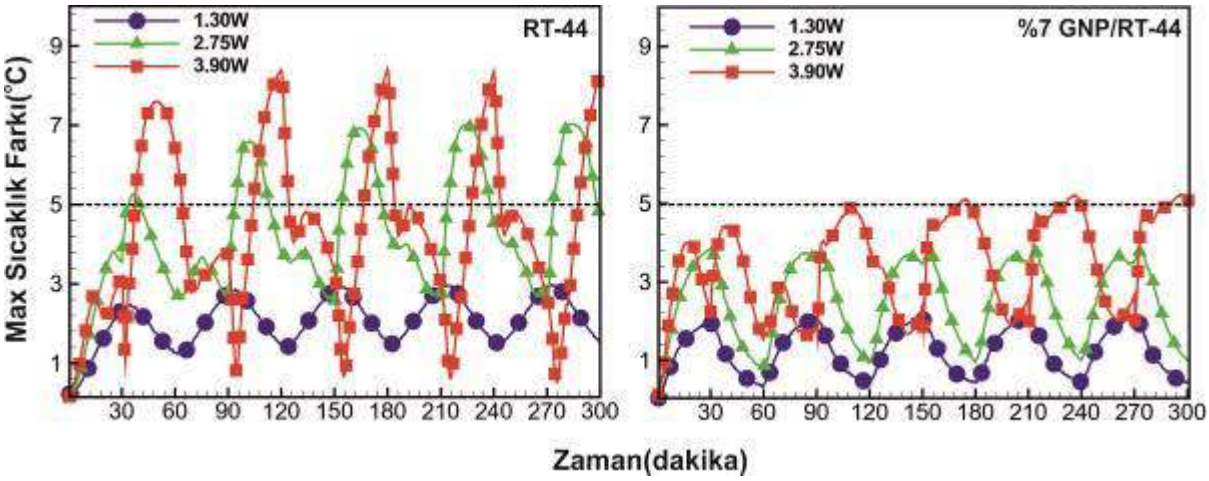
Geçici çalışan pil paketlerinde önceki ısıtma/soğutma çevriminin sonrakilere olan etkisini belirlemek için beş ısıtma/soğutma çevrimi gerçekleştirilmiştir. Her bir çevrim için 30 dakika ısıtma ve sonrasında 30 dakika soğutmadan oluşan bir senaryo benimsenmiştir. Simülatif pil paketinin beş ısıtma/soğutma çevrimi süresince termal davranışı Şekil 7'de verilmiştir. RT-44 pasif termal korumasında 1.30W ve 2.75W deşarj hızları için maksimum sıcaklık 50 $^{o}$C'nin altında kalırken 3.90W deşarj hızında maksimum sıcaklığın ikinci ısıtma itibariyle 50 $^{o}$C'nin üzerine çıktığı belirlenmiştir. Buna karşılık %7 GNP/RT-44 pasif termal korumasının beş ısıtma/soğutma çevrimi boyunca ve üç farklı ısıtma hızı için sıcaklığı 50 $^{o}$C'nin altında sınırlamayı başardığı görülmüştür. %7 GNP/RT-44 pasif termal korumasının RT-44 korumasına nazaran

maksimum sıcaklıkta 1.30W, 2.75W ve 3.90W deşarj hızları için sırasıyla 2.73°C, 3.98°C ve 5.41°C azalma sağladığı görülmüştür.




**Şekil 7. Pil Paketi İçin Beş Istma/Soğutma Çevrimi Boyunca Maksimum Sıcaklık Değişimi**

Benzer biçimde beş ısıtma/soğutma çevrimi sırasında pil paketi içerisindeki maksimum sıcaklık farkının zamana göre değişimi Şekil 8'de verilmiştir. RT-44 pasif termal korumasında 2.75W ve 3.90W deşarj hızlarında maksimum sıcaklık farkının ikinci ısıtmadan itibaren 5°C'nin üstüne çıktığı görülmektedir. Buna karşılık %7 GNP/RT-44 pasif termal korumasının, tüm ısıtma hızları için maksimum sıcaklık farkını 5 °C'nin altında tuttuğu belirlenmiştir. %7 GNP/RT-44 pasif termal korumasının RT-44 korumasına nazaran maksimum sıcaklık farkında 1.30W, 2.75W ve 3.90W deşarj hızları için sırasıyla 0.39 °C, 3.25 °C ve 3.13 °C azalma sağladığı görülmüştür.




**Şekil 8. Pil Paketi İçin Beş Istma/Soğutma Çevrimi Boyunca Maksimum Sıcaklık Farkı Değişimi**

## SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, düşük ısıl iletkenliğe sahip organik RT-44 faz değişken malzemesinin ısıl iletkenliği iyileştirilerek bir pil paketinin pasif termal korumasındaki kullanılabilirliği araştırılmıştır. %7 GNP/RT-44 kompozitinin ısıl iletkenliğinde sırasıyla katı ve sıvı hal için %227.5 ve %133.3 iyileşme sağlanmıştır. Isıl iletkenlikte elde edilen iyileşmeye karşılık gizli ısıdaki %7.5 kaybın göz ardı edilebileceği belirlenmiştir.

1.30W ve 2.75W ısıtma hızlarında çalışan simülatif batarya paketi için maksimum sıcaklık kısıtlama iyileştirmesi %7 GNP/RT-44 kullanılması durumunda RT-44'e göre 3.7 $^{o}$C-4.7 $^{o}$C aralığındadır. %7 GNP/RT-44 kompozitinde sabit sıcaklık platosunun oluşmaması nedeniyle 3.90W ısıtma hızında çalışan batarya paketi için bu iyileşme 0.8 $^{o}$C'ye düşmektedir. 1.30W ve 2.75W ısıtma hızlarında çalışan batarya paketinde, gerek RT-44 gerekse de %7 GNP/RT-44, tüm ısıtma işlemi süresince etkin koruma sağlamaktadır. RT-44, 3.90W ısıtma hızında etkin kullanım süresini, koruma yapılmayan batarya paketine kıyasla 4 kat arttırmaktadır. Buna karşılık %7 GNP/RT-44, 3.90W ısıtma hızında çalışan simülatif bir batarya paketinde, etkin kullanım süresini RT-44 termal korumalı sisteme göre 2.3 kat, koruma yapılmayan batarya paketine göre ise 9.1 kat arttırmaktadır. Tüm ısıtma işlemleri için her iki koruma sistemi de maksimum sıcaklık farkını 5$^{o}$C'nin altında tutabilmektedir. Ardışık ısıtma/soğutma çevrimleri süresince maksimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık farkı kriterleri açısından %7 GNP/RT-44 pasif termal koruması RT-44'e nazaran iyi bir

performans sergilemektedir. Bu sonuçlar ışığında %7 GNP/RT-44 kompozitinin pil paketlerinde termal koruma ortamı olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (CÜBAP) tarafından M-622 nolu proje ile desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

Baby, R., & Balaji, C. (2013). Experimental investigations on thermal performance enhancement and effect of orientation on porous matrix filled PCM based heat sink. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *46*, 27–30. https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2013.05.018

Bahiraei, F., Fartaj, A., & Nazri, G. A. (2017). Experimental and numerical investigation on the performance of carbon-based nanoenhanced phase change materials for thermal management applications. *Energy Conversion and Management*. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.09.065

Bhattacharya, A., Calmidi, V. V., & Mahajan, R. L. (2002). Thermophysical properties of high porosity metal foams. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *45*(5), 1017–1031. https://doi.org/10.1016/S0017-9310(01)00220-4

Cui, H. T. (2012). Experimental investigation on the heat charging process by paraffin filled with high porosity copper foam. *Applied Thermal Engineering*, *39*, 26–28. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.01.037

Duan, X., & Naterer, G. F. (2010). Heat transfer in phase change materials for thermal management of electric vehicle battery modules. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.07.044

Fan, L., Khodadadi, J. M., & Pesaran, A. A. (2013). A parametric study on thermal management of an air-cooled lithium-ion battery module for plug-in hybrid electric vehicles. *Journal of Power Sources*, *238*, 301–312. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.03.050

Fan, L. W., Fang, X., Wang, X., Zeng, Y., Xiao, Y. Q., Yu, Z. T., … Cen, K. F. (2013). Effects of various carbon nanofillers on the thermal conductivity and energy storage properties of paraffin-based nanocomposite phase change materials. *Applied Energy*. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.04.043

Giuliano, M. R., Prasad, A. K., & Advani, S. G. (2012). Experimental study of an air-cooled thermal management system for high capacity lithium-titanate batteries. *Journal of Power Sources*, *216*, 345–352. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.05.074

Hallaj, S. Al, & Selman, J. R. (2000). A Novel Thermal Management System for Electric Vehicle Batteries Using Phase-Change Material. *Journal of The Electrochemical Society*. https://doi.org/10.1149/1.1393888

Hémery, C. V., Pra, F., Robin, J. F., & Marty, P. (2014). Experimental performances of

a battery thermal management system using a phase change material. *Journal of Power Sources*, *270*, 349–358. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.07.147

Jarrett, A., & Kim, I. Y. (2011). Design optimization of electric vehicle battery cooling plates for thermal performance. *Journal of Power Sources*, *196*(23), 10359–10368. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.06.090

Jiang, G., Huang, J., Liu, M., & Cao, M. (2017). Experiment and simulation of thermal management for a tube-shell Li-ion battery pack with composite phase change material. *Applied Thermal Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.03.107

Khateeb, S. A., Amiruddin, S., Farid, M., Selman, J. R., & Al-Hallaj, S. (2005). Thermal management of Li-ion battery with phase change material for electric scooters: Experimental validation. *Journal of Power Sources*. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2004.09.033

Kizilel, R., Lateef, A., Sabbah, R., Farid, M. M., Selman, J. R., & Al-Hallaj, S. (2008). Passive control of temperature excursion and uniformity in high-energy Li-ion battery packs at high current and ambient temperature. *Journal of Power Sources*. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.04.050

Li, W. Q., Qu, Z. G., He, Y. L., & Tao, Y. B. (2014). Experimental study of a passive thermal management system for high-powered lithium ion batteries using porous metal foam saturated with phase change materials. *Journal of Power Sources*. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.01.006

Lin, C., Xu, S., Chang, G., & Liu, J. (2015). Experiment and simulation of a LiFePO4 battery pack with a passive thermal management system using composite phase change material and graphite sheets. *Journal of Power Sources*, *275*, 742–749. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.11.068

Ling, Z., Wang, F., Fang, X., Gao, X., & Zhang, Z. (2015). A hybrid thermal management system for lithium ion batteries combining phase change materials with forced-air cooling. *Applied Energy*, *148*, 403–409. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.080

Liu, L., Su, D., Tang, Y., & Fang, G. (2016). Thermal conductivity enhancement of phase change materials for thermal energy storage: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.057

Qu, Z. G., Li, W. Q., & Tao, W. Q. (2014). Numerical model of the passive thermal management system for high-power lithium ion battery by using porous metal foam saturated with phase change material. *International Journal of Hydrogen Energy*, *39*(8), 3904–3913. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.12.136

Rao, Z., Huo, Y., Liu, X., & Zhang, G. (2015). Experimental investigation of battery thermal management system for electric vehicle based on paraffin/copper foam. *Journal of the Energy Institute*, *88*(3), 241–246. https://doi.org/10.1016/j.joei.2014.09.006

Rao, Z., & Wang, S. (2011). A review of power battery thermal energy management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(9), 4554–4571. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.096

Sabbah, R., Kizilel, R., Selman, J. R., & Al-Hallaj, S. (2008). Active (air-cooled) vs. passive (phase change material) thermal management of high power lithium-ion packs: Limitation of temperature rise and uniformity of temperature distribution. *Journal of Power Sources*, *182*(2), 630–638. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.03.082

Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005

Wang, Zhiwei, Zhang, H., & Xia, X. (2017). Experimental investigation on the thermal behavior of cylindrical battery with composite paraffin and fin structure. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *109*, 958–970. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.02.057

Wang, Zichen, Zhang, Z., Jia, L., & Yang, L. (2015). Paraffin and paraffin/aluminum foam composite phase change material heat storage experimental study based on thermal management of Li-ion battery. *Applied Thermal Engineering*, *78*, 428–436. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.01.009

Yuan, Y., Li, T., Zhang, N., Cao, X., & Yang, X. (2016). Investigation on thermal properties of capric–palmitic–stearic acid/activated carbon composite phase change materials for high-temperature cooling application. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. https://doi.org/10.1007/s10973-015-5173-0

Zhao, J., Lv, P., & Rao, Z. (2017). Experimental study on the thermal management performance of phase change material coupled with heat pipe for cylindrical power battery pack. *Experimental Thermal and Fluid Science*. https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.11.017

Zhao, R., Gu, J., & Liu, J. (2017). Optimization of a phase change material based internal cooling system for cylindrical Li-ion battery pack and a hybrid cooling design. *Energy*, *135*, 811–822. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.168

Zhou, D., & Zhao, C. Y. (2011). Experimental investigations on heat transfer in phase change materials (PCMs) embedded in porous materials. *Applied Thermal Engineering*, *31*(5), 970–977. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.11.022

# EFFECTS OF NATURAL GAS ENRICHMENT WITH HYDROGEN ON ENGINE PERFORMANCE IN A COMPRESSION IGNITION ENGINE

Müjdat FIRAT, Dept. of Automotive Engineering, Technology Faculty, Firat University, 23119, Elazig, Turkey, mfirat@firat.edu.tr

**ABSTRACT**: In the present study investigates the effect of hydrogen addition to natural gas on engine performance in a compression ignition engine. This study is aimed to develop the 1-D model of a four-stroke compression ignition engine for predicting the effect of natural gas enrichment with hydrogen on engine performances. AVL BOOST was used as a simulation tool to analyze the engine performance for different blends of natural gas and hydrogen. Various hydrogen fractions (10% and 20%) are examined. Results showed that natural gas enrichment with hydrogen leads in general to an improved gaseous fuel combustion and engine performance. The results indicated that when natural gas enrichment with hydrogen were used, the brake specific fuel consumption decreased up to 30% and effective efficiency increased up to 10% compared to those of natural gas fuel.

**Key words:** Natural gas, Hydrogen, Engine performance, Modeling

# SIKIŞTIRMA ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA HİDROJENLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ DOĞALGAZ KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİ

**ÖZET:** Bu çalışmada sıkıştırma ateşlemeli bir motorda hidrojen eklenmiş doğalgaz kullanımının motor performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Bu çalışma, hidrojenle zenginleştirilmiş doğalgazın dört zamanlı sıkıştırma ateşlemeli bir motorda kullanımının motor performansı üzerine etkilerini incelemek için 1-Boyutlu bir model geliştirmeyi amaçlamaktadır. Farklı oranlarda hidrojen doğalgaz karışımının motor performansına etkilerinin incelenmesi için AVL-BOOST sayısal yazılımı kullanılmıştır. Farklı hidrojen oranları (%10 ve %20) araştırılmıştır. Sonuçlar hidrojenle zenginleştirilmiş doğalgaz yanmasının gaz yakıt yanmasını ve motor performansını geliştirdiğini göstermiştir. Ayrıca, hidrojenle zenginleştirilmiş doğalgaz kullanıldığında özgül yakıt tüketiminin %30'a kadar azaldığı ve efektif verimin %10'a kadar artığı görülmüştür.

**Anahtar sözcükler:** Doğalgaz, Hidrojen, Motor performansı, Modelleme

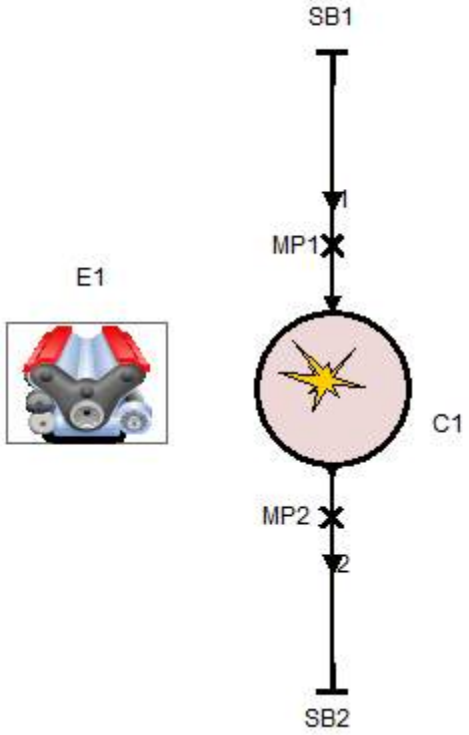
## GİRİŞ

Enerji ihtiyacında artan talebe karşılık fosil yakıtların gittikçe azalmasından dolayı özellikle içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt arayışları artış göstermektedir. Bu arayış neticesinde son yıllarda umut verici sonuçlar elde edilen alternatif yakıtlardan biriside doğalgazdır. Doğalgaz daha iyi motor performansı daha düşük emisyon üretimi, uygun fiyat ve ulaşılabilirlik gibi avantajları sebebiyle içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır (Choi vd. 2016). Doğalgazın düşük yanma hızı ve fakir yanma durumunu gidermek için, doğalgaz farklı gaz yakıtlarla desteklenmektedir. Bu destekleme için en iyi alternatiflerden biriside hidrojendir. Hidrojenin daha geniş yanma limiti ve daha yüksek yanma hızıyla, doğalgaz için çevrimsel değişimler giderilmektedir. Bu şekilde özellikle ısıl verim artırılırken motor performansı iyileştirilebilmektedir (Lounici vd. 2014). Hidrojenle zenginleştirilmiş doğalgazın içten yanmalı motorlarda kullanımı ile ilgili olarak literatürde farklı çalışmalar görülmektedir (Imran vd.(2018), Kalsi ve Subramanian (2017)). Zhou vd. (2014) hidrojen-metan karışımının bir dizel motorda kullanılmasının, yanma karakteristikleri ve kirletici emisyonlar üzerine etkilerini analiz etmişlerdir. Farklı hidrojen oranları ve motor yükleri için gerçekleştirilen çalışmada yüksek hidrojen oranlarda ve %30 motor yüklerinde motor performansının yükseldiği, CO ve HC emisyonlarının düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca %30 hidrojen oranında ve yüksek motor yüklerinde NOx emisyonlarının azaldığı gözlenmiştir. Lounici vd. (2014) hidrojenle zenginleştirilmiş doğalgazın ikinci yakıt olarak kullanıldığı çift yakıtlı bir motoru deneysel olarak incelemişlerdir. Hidrojen katkısının özellikle düşük yüklerde kirletici emisyonları düşürdüğü gözlenmiştir. Ayrıca %10 hidrojen kullanımı durumunda özgül yakıt tüketiminin ciddi oranda düştüğü, motor performansı bakımından önemli bir sonuç olarak sunulmuştur. Ouchikh vd. (2019) deneysel olarak yürüttükleri çalışmada çift yakıtlı bir dizel motorunda zenginleştirilmiş doğalgaz kullanımını araştırmışlardır. Çalışma 1500 motor devrinde farklı motor yüklerinde (%30-%70) ve farklı hidrojen oranlarında (%10,%20 ve %30) gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda hidrojen katkısı durumunda özgül yakıt tüketiminde azalma görülürken termal verimde artış gözlenmiştir.

İncelenen literatür ışığında, doğalgazla çalışan motorlar için hidrojenle zenginleştirilmiş doğalgaz kullanımı konusunda eksikler görülmüş ve bu çalışmanın konusu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında %10 ve %20 oranlarında hidrojenle zenginleştirilmiş doğalgazın sıkıştırma ateşlemeli bir motorda kullanımı araştırılmıştır. Sonuçlar özellikle motor performansı bakımından tartışılmıştır.

## YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında tek silindirli sıkıştırma ateşlemeli bir motorda hidrojenle zenginleştirilmiş doğalgaz kullanımı 1-Boyutlu sayısal model kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler AVL-BOOST yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (AVL, 2018). AVL-BOOST çok geniş aralıkta içten yanmalı motorların modellenmesinde kullanılmaktadır. Bu yazılım ile iki ve dört zamanlı motorlar, tek silindirli ve çok silindirli motorlar ve farklı amaçlı endüstriyel motorların emme ve egzoz hatlarındaki tüm bileşenleriyle birlikte çevrim bazında termodinamik analizi yapılabilmektedir (Iliev, (2015), Petranović vd. (2018)). Çalışmada kullanılan bir boyutlu model Şekil 1'de görülmektedir. Model üzerinde E1 tanımlanan motoru ve genel özelliklerini, C1 silindiri, MP1 ve MP2 ölçüm noktalarını, SB1 ve SB2 ise sistem sınırlarını ifade etmektedir. Her bir bileşen için birçok özellik ve sınır şartı tanımlanarak tam çevrim analizleri gerçekleştirilmektedir. Motor geometrik verileri, piston hareketleri, supap profilleri, yakıt miktarı, enjeksiyon zamanı ve süresi gibi bir çok parametre giriş verisi olarak tanımlanarak analizler yapılmıştır. Yanma analizleri için Vibe 2-Zone yanma modeli kullanılmıştır. Bu modelde yanmış ve yanmamış bölgelere göre çözüm yapılmaktadır. Bu ayrım ise sıcaklık değişimine göre termodinamik ifadelerle yapılmaktadır. Ayrıca NOx emisyonları için iyi bilinen Zeldovich mekanizması tercih edilmiştir. Analizler için kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.




**Şekil 1. AVL-BOOST Tam Çevrim Analiz Modeli**

**Tablo 1. Motorun Teknik Özellikleri**

| | |
|---|---|
| Silindir sayısı | 1 |

| | |
|---|---|
| Motor tipi | 4 zamanlı, sıkıştırma ateşlemeli, direk enjeksiyon |
| Çap (mm) | 95.4 |
| Strok (mm) | 88.9 |
| Hacim ($cm^3$) | 625 |
| Sıkıştırma oranı | 18.1 |
| Enjeksiyon zamanı | $14^o$ KMA üst ölü noktadan önce |
| Motor devri (d/d) | 1500 |

Bu çalışma kapsamında hidrojen ile zenginleştirilmiş doğalgazın sıkıştırma ateşlemeli bir motorda kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla doğalgaz tüm bileşenleriyle birlikte tanımlanmış ve belirli oranlarda hidrojen tanımlamaları yapılmıştır. Kullanılan doğalgazın bileşenleri Tablo 2'de görülmektedir. Yakıtın doğru tanımlanması için AVL-BOOST içerisinde yeni bir yakıt kütüphanesi oluşturulmuştur. Hazırlanan kütüphanenin hidrojen oranı değiştirilerek tüm analizlerde kullanılmıştır. Çalışma kapsamında %100 doğalgaz, %90 doğalgaz-%10 hidrojen ve %80 doğalgaz-%20 hidrojen oranları için analizler gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 2. Doğalgaz Bileşenleri**

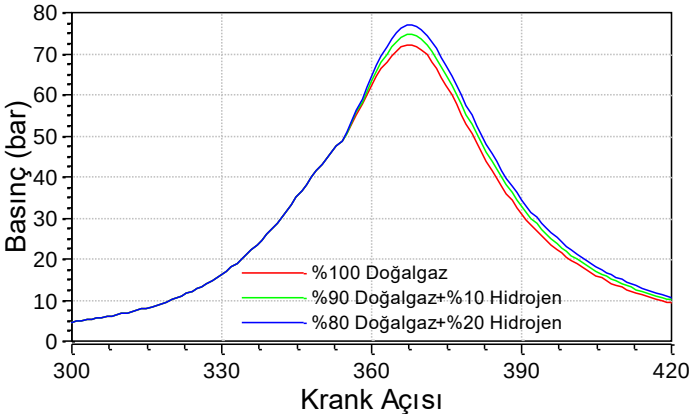
| **Bileşen** | **%** |
|---|---|
| Metan ($CH_4$) | 90.65 |
| Etan ($C_2H_6$) | 6.8 |
| Propan ($C_3H_8$) | 1.8 |
| Bütan ($C_4H_{10}$) | 0.7 |
| Pentan ($C_5H_{12}$) | 0.05 |

## BULGULAR

Bu çalışma kapsamında farklı oranlarda hidrojenle zenginleştirilmiş doğalgazın, doğalgazla çalışan sıkıştırma ateşlemeli bir motorda kullanılması araştırılmıştır. Tamamen doğalgazın yakıt olarak kullanıldığı durumun yanında, %10 ve %20 oranlarda hidrojen eklenmesinin özellikle motor performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

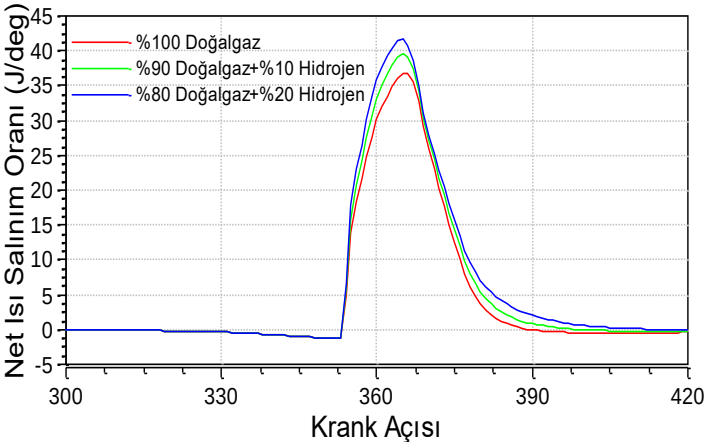
Şekil 2'de farklı oranlarda hidrojen kullanılmış durumlar için silindir içi basıncın krank mili açısına (KMA) bağlı değişimi görülmektedir. Her üç durum için benzer eğilimler elde edilmekle birlikte, hidrojen oranı arttıkça silindir içi basınçta artış gözlenmiştir. Doğalgazın eksik yanma sınırları ve düşük alev hızının hidrojenle

birlikte geliştirildiği düşünülürse silindir içi basınçtaki artış bu bakımdan olumlu karşılanmaktadır. Silindir içi basınçtaki artışın motor performansına etki edeceği düşünülmektedir. Özellikle yanmanın başladığı krank açılarında ani basınç yükselişlerinin görülmemesi hidrojen katkısının yanmayı olumsuz etkilemediği sonucunu vermektedir.




**Şekil 2. Silindir İçi Basıncın Hidrojen Oranına Bağlı Değişimi**

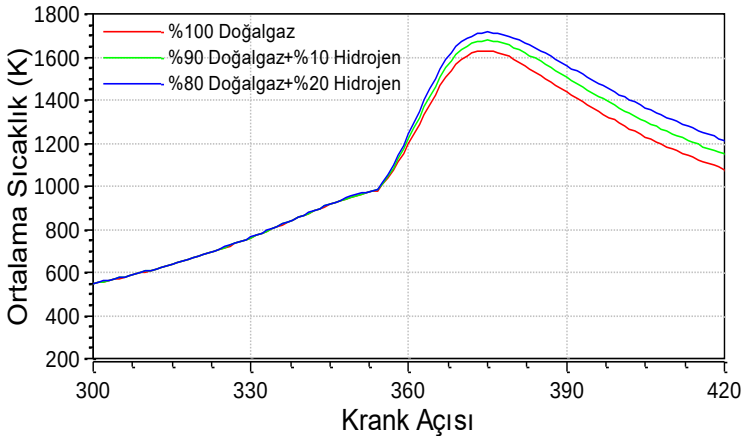
Hidrojen oranına bağlı olarak ısı salınım oranında meydana gelen değişimler Şekil 3'de görülmektedir. Şekilde hidrojen oranı arttıkça ısı salınım oranınında arttığı görülmektedir. Ayrıca hidrojen yüzdesine bağlı olarak ısı salınımının birkaç KMA öne çekildiği görülmekte olup, yanma hızının ifade edilmesi bakımından önemli bir sonuçtur. Krank açısı başına ısı salınımını ifade eden ısı salınım oranı, enjekte edilen yakıtların ısıl değerleri ile de ilgilidir. Doğalgazın alt ısıl değerinin yaklaşık 50MJ/kg, Hidrojenin alt ısıl değerinin ise yaklaşık 120MJ/kg olduğu düşünülürse ısı salınımdaki artış açıklanabilmektedir.




**Şekil 3. Isı Salınım Oranının Hidrojen Oranına Bağlı Değişimi**

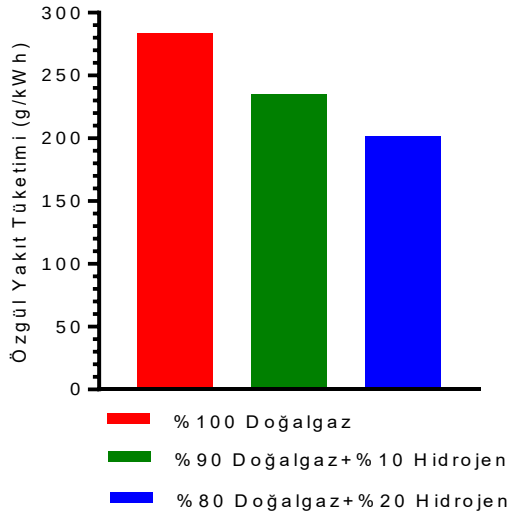
Şekil 4'de silindir içi sıcaklığın hidrojen oranına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Silindir içi sıcaklık yanma oluşumuna göre değişmekle birlikte yanma için önemli bir

göstergedir. Elde edilen şekilde, hidrojen katkısına bağlı olarak silindir içi sıcaklığının da arttığı görülmektedir. Doğalgazın düşük yanma hızı ve fakir yanma sınırlarının hidrojenle geliştirilmesinin bir sonucu olarak yanma sonu sıcaklıklarının da arttığı görülmektedir.



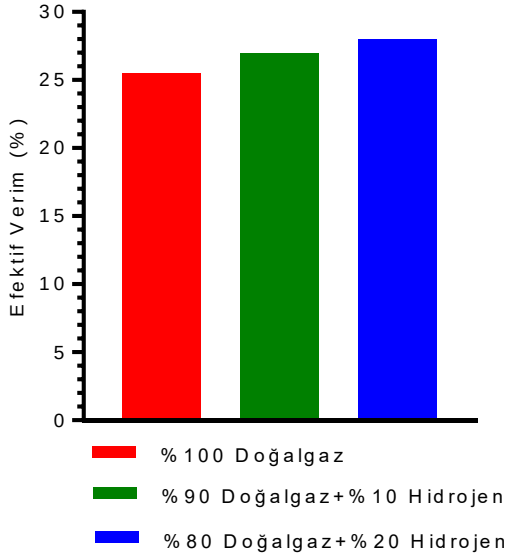

**Şekil 4. Silindir İçi Ortalama Sıcaklığın Hidrojen Oranına Bağlı Değişimi**

İçten yanmalı motorlar için en önemli performans parametrelerinden bir diğeri ise özgül yakıt tüketimidir. Doğalgazla çalışan bir motorda hidrojen katkısının özgül yakıt tüketimine etkisi Şekil 5'de görülmektedir. Birim güç başına yakıt tüketiminin hidrojen oranına bağlı olarak azaldığı çalışma kapsamında elde edilen önemli bir sonuçtur. Hidrojenle zenginleştirilmiş doğalgaz kullanımı durumunda özgül yakıt tüketimin yaklaşık %30 oranında düştüğü gözlenmiştir. Bu sonuç daha önceki grafikleri doğrulamakla birlikte enjekte edilen yakıtın yanma veriminin de iyileştiğini gösteren bir sonuç olarak değerlendirilmiştir.




**Şekil 5. Özgül Yakıt Tüketiminin Hidrojen Oranına Bağlı Değişimi**

Şekil 6'da efektif verimin hidrojen oranına bağlı değişimi görülmektedir. Efektif verim motor performansını gösteren önemli bir parametredir. Şekil 5'de görülen özgül yakıt tüketiminin düşüşüne bağlı olarak, efektif verim hidrojen oranıyla birlikte artış göstermektedir. Bu artış %20 hidrojen katkısı durumunda yaklaşık %10 olarak gerçekleşmektedir. Doğalgaz yanmasının olumsuz yönlerinin hidrojen katkısıyla giderilmesi neticesinde motor performansının artacağı bu grafikte görülmektedir.




**Şekil 6. Efektif Verimin Hidrojen Oranına Bağlı Değişimi**

## SONUÇ

Sıkıştırma ateşlemeli bir motorda hidrojenle zenginleştirilmiş doğalgaz kullanımın motor performansına etkileri bu çalışma kapsamında 1-Boyutlu termodinamik çevrim analizi ile araştırılmıştır. AVL-BOOST yazılımının kullanıldığı çalışmada %100 doğalgaz kullanımının yanında %10 ve %20 oranlarında hidrojen katkısının performans karakteristikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada elde edilen temel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

Doğalgazla çalışan bir motorda hidrojenle zenginleştirilmiş doğalgaz kullanımın silindir içi basıncı yaklaşık %7 oranında arttırdığı görülmüştür.

Hidrojen oranı artıkça silindir içi sıcaklık ve ısı salınım oranının artış gösterdiği görülmüş ve hidrojen katkısının doğalgaz yanmasını iyileştirdiği düşünülmüştür.

Hidrojen oranına bağlı olarak, %10 hidrojen oranında özgül yakıt tüketimin yaklaşık %18, %20 hidrojen kullanımında ise yaklaşık %30 oranında azaldığı görülmüştür.

Doğalgaza hidrojen katkısının efektif verimi etkilediği görülürken, %20 hidrojen oranında efektif verimin yaklaşık %10 artış gösterdiği elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçların, deneysel verilerle desteklenmesi ve geliştirilmesi durumunda doğalgazla çalışan içten yanmalı motorlar için umut verici sonuçların ortaya çıkarılması mümkün olabilecektir. Bundan sonraki çalışmaların, deneysel bulguların ortaya çıkarılmasına yoğunlaşması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

AVL-BOOST Manuel, 2018.

Choi, M. Song, J., & Park, S. (2016). Modeling of the fuel injection and combustion process in a CNG direct injection engine. *Fuel, 179,* 168–178.

Iliev, S. (2015). A Comparison of Ethanol and Methanol Blending with Gasoline Using a 1- D Engine Model. *Procedia Engineering, 100,* 1013 – 1022

Imran, S., Korakianitis, T., Shaukat, R., Farooq, M., Condoor, S., & Jayaram S. (2018). Experimentally tested performance and emissions advantages of using natural-gas and hydrogen fuel mixture with diesel and rapeseed methyl ester as pilot fuels. *Appl Energy, 229*, 1260-1268.

Kalsi, S.S., & Subramanian, K. (2017). Experimental investigations of effects of hydrogen blended CNG on performance, combustion and emissions characteristics of a biodiesel fueled reactivity controlled compression ignition engine (RCCI). *Int J Hydrogen Energy, 42,* 4548-4560.

Lounici, M.S., Boussadi, A., Loubar, K., & Tazerout, M. (2014). Experimental investigation on NG dual fuel engine improvement by hydrogen enrichment. *Int J Hydrogen Energy, 39*, 21297-21306.

Ouchikh, S., Lounici, M.S., Tarabet, L., Loubar, K., & Tazerout, M. (2019). Effect of natural gas enrichment with hydrogen on combustion characteristics of a dual fuel diesel engine. *Int J Hydrogen Energy, 44*,13974-13987.

Petranović, Z., Sjerić, M., Taritaš, I., Vujanović, M.,& Kozarac, D. (2018). Study of advanced engine operating strategies on a turbocharged diesel engine by using coupled numerical approaches. *Energy Conversion and Management, 171*, 1–11.

Zhou, J., Cheung, C.,& Leung, C. (2014). Combustion, performance and emissions of a diesel engine with $H_2$, $CH_4$ and $H_2$-$CH_4$ addition. *Int J Hydrogen Energy, 39*,4611-4621.

# EXPERIMENTAL AND NUMERICAL MODELING OF A LOW FROUDE NUMBER FREE HYDRAULIC JUMP

Mehmet PARMAKSIZ, Harran University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, mhmtprmksz@gmail.com

Veysel GÜMÜŞ, Harran University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, gumus@harran.edu.tr

Oğuz ŞİMŞEK, Harran University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, oguzsimsek@harran.edu.tr

**ABSTRACT:** Hydraulic jump defined as a rapid transition from the supercritical to the subcritical flow regime. In hydraulic jump a large amount of energy is absorbed during this transition. Knowledge of the characteristics of the hydraulic jump is important in the design of these stilling basin structures and in terms of the safe transfer of water to the downstream side. In this study, the characteristics of hydraulic jumps having Froude number 2.54 are experimentally measured and the obtained experimental results are compared with numerically model. Computational Fluid Dynamics (HAD) methods based on finite volume method are used in the numerical model. Standard k-ε (SKE), Renormalization Group k-ε (RNG), Shear Stress Transport k-ω (SST) and Reynold Stress Models (RSM) are used for the identification of turbulence in numerical modelling, and VOF method is used to determination of free surface profile. Grid convergence index method is also used for determination of the mesh density. As a result of the study, SKE model is found most successful model to determine the free surface profile of the free hydraulic jump.

***Keywords:*** Free hydraulic jump, turbulence models, computational fluid dynamics (CFD), open channel flows

# DÜŞÜK FROUDE SAYISINDA MEYDANA GELEN SERBEST HİDROLİK SIÇRAMANIN DENEYSEL VE SAYISAL MODELLEMESİ

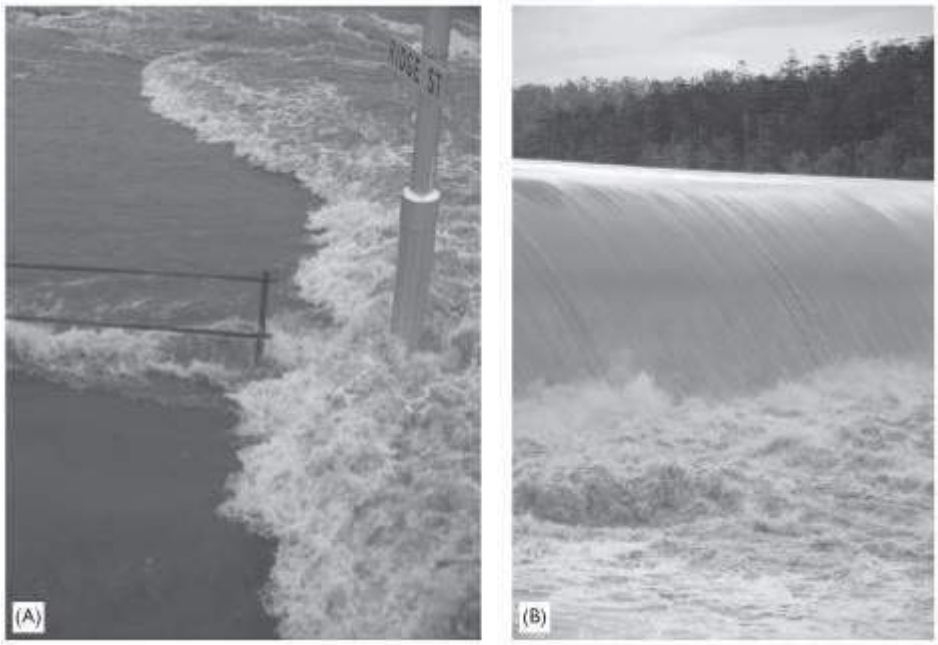
**ÖZET**: Hidrolik sıçramada akım kritik üstü (sel rejimi) akımdan kritik altı (nehir rejimi) akıma hızlı bir geçiş sağlar ve bu geçiş esnasında meydana gelen sıçrama bölgesinde ciddi miktarda bir enerji sönümlenir. Hidrolik sıçramanın karakteristiklerinin bilinmesi bu enerji kırıcı yapıların tasarımında ve suyun güvenle mansap tarafına aktarılması açısından önemlidir. Bu çalışma kapsamında laboratuvar ortamında Froude sayısının 2,54 olduğu akımda meydana gelen hidrolik sıçramanın karakteristik yapısı deneysel olarak ölçülmüş ve elde edilen deneysel bulgular sonlu hacimler yöntemine dayalı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri ile sayısal olarak modellenmiştir. Sayısal modellemede türbülansın tanımlanması için Standart k-ε (SKE), Renormalization Group k-ε (RNG), Shear Stress Transport k-ω

(SST) ve Reynold Stress Model (RSM), serbest su yüzünün belirlenmesinde ise VOF yöntemi kullanılmıştır. Ağ hassasiyetinin uygunluğu için de ağ yakınsama indeksi yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, serbest hidrolik sıçramanın su yüzü profilini belirlemede en başarılı türbülans kapatma modelinin SKE türbülans kapatma modeli olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Serbest hidrolik sıçrama, türbülans modelleri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), açık kanal akımları

## 1. GİRİŞ

Hidrolik sıçrama, açık kanallarda kritik üstü akımdan (Froude>1) kritik altı akıma (Froude<1) ani ve hızlı geçiş olarak tanımlanır. Bu geçiş, yüzey dalgaları, enerji yayılımı ve havanın sürüklenmesine bağlı olarak büyük çaplı türbülansa sebep olur, buna bağlı olarak da önemli bir enerji kaybı meydana gelir. Şekil 1-A, bir sel baskını sırasında menfez girişindeki bir hidrolik sıçramayı, Şekil 1-B ise taşkın sırasında baraj dolusavak mansabında meydana gelen hidrolik sıçramayı göstermektedir. Bir taşkın sırasında dolusavak mansap bölgesinde akım çok yüksek hızlara erişebilmekte ve buna bağlı olarak dolusavağa ve etrafındaki yapılara zarar verebilmektedir. Ancak, hidrolik sıçrama sırasında çok fazla enerji kaybı meydana geldiğinden ve akım kritik altı akıma dönüştüğünden bu yapılara zarar gelmesi engellenebilmektedir. Hidrolik sıçramanın yapısı ve enerji kaybının belirlenebilmesi için fiziksel modellemeler yapılmakta ve ayrıca gelişen teknolojiyle birlikte bu modellemeler sayısal olarak yapılabilmektedir. Geçmiş çalışmalar incelendiğinde, sıçramanın fiziksel modellemesi ile ilgili yapılan çalışmalar uzun yıllardır devam etmektedir (Pillai ve ark., (1989), Hager ve Li, (1992), Liu ve ark., (2004), Özbay, (2008), Alikhani ve ark., (2010), Padulano ve ark. (2017)). Günümüzde ise serbest su yüzüne sahip farklı türdeki açık kanal akımlarının sayısal modellemesi başarı ile yapılmaktadır (Gharangik ve ark., (1991), Carvalho ve ark., (2008), Chippada ve ark., (1994)). Sıçrama ile ilgili çalışmalar incelendiğinde ise, Gümüş (2013), batık hidrolik sıçramanın deneysel ve sayısal modellemesini yapmışlar, çalışmalar üç farklı türbülans kapatma modeli ile modelleme yapılmış ve sıçrama karakteristikleri belirlenmiştir. Ma (2004) yine batık hidrolik sıçramanın su yüzü profilini belirlemek için sayısal modelleme yapmıştır. Serbest hidrolik sıçramanın modelleme çalışmaları incelendiğinde ise Gümüş ve ark. (2012)'de kayar kapak sonrası meydana gelen serbest hidrolik sıçramanın su yüzü profili sayısal olarak belirlenmiştir.




Şekil 1. Farklı Bölgelerde Meydana Gelen Serbest Hidrolik Sıçrama

Bu çalışma kapsamında laboratuvar ortamında hidrolik sıçrama membasında Froude sayısının 2.54 olduğu akımda oluşan hidrolik sıçramanın karakteristikleri deneysel olarak ölçülmüş ve elde edilen deneysel bulgular Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri ile farklı türbülans modelleri kullanılarak sayısal olarak modellenmiştir. Çalışma kapsamında, serbest hidrolik sıçramanın karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak değerlendirilmiş ve deneysel veriler sayısal modelin doğrulanmasında kullanılmıştır.

## 2. DENEYLER

Deneyler, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bulunan 400x35x35 cm boyutundaki açık kanal modelinde yapılmıştır (Şekil 2). Oluşturulmak istenilen hidrolik sıçramanın yapısının ayarlanması için kanal memba kısmına bir kayar kapak yerleştirilmiş ve kanal sonuna bir savak yerleştirmek suretiyle Fr=2.54 akım şartında sıçrama oluşturulmuştur.

**Şekil 2. Deneyde Kullanılan Açık Kanal Modeli**

Sıçramanın türünün belirlenmesinde esas parametre sıçrama öncesi kesitteki Froude sayısıdır. Froude sayısı Denklem 1'deki gibi hesaplanır.

$$Fr_1 = \frac{V}{\sqrt{gh_1}} \qquad (1)$$

Burada V akımın ortalama hızını, $h_1$ su derinliğini, g ise yerçekimi ivmesini simgelemektedir.

## 3. YÖNTEM

### 3.1 Temel Denklemler

Serbest hidrolik sıçrama türbülanslı bir akım olup, akımın çözülebilmesi amacıyla kullanılacak temel denklemler süreklilik ve Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemleridir. Bu denklemler sırasıyla Denklem 2 ve Denklem 3'te verilmiştir.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \qquad \textbf{(2)}$$

$$\rho\left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) = \rho g_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij}) \qquad \textbf{(3)}$$

Süreklilik ve RANS denklemlerinde bulunan $u_i$ ortalama hız bileşenlerini, $p$ ortalama basıncı, μ akışkanın dinamik viskozitesini, $\rho$ akışkanın yoğunluğunu, $\rho g_i$ yerçekiminin sebep olduğu kütlesel kuvveti, $t$ zamanı, $\tau_{ij}$ ise türbülans (Reynolds) gerilmelerini ifade etmektedir. Türbülans yani Reynolds gerilmeleri Boussinesq yaklaşımına göre Denklem 4'teki gibi ifade edilir:

$$\tau_{ij} = -\rho\overline{u_i' u_j'} = \mu_t\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}\delta_{ij}\rho k \qquad \textbf{(4)}$$

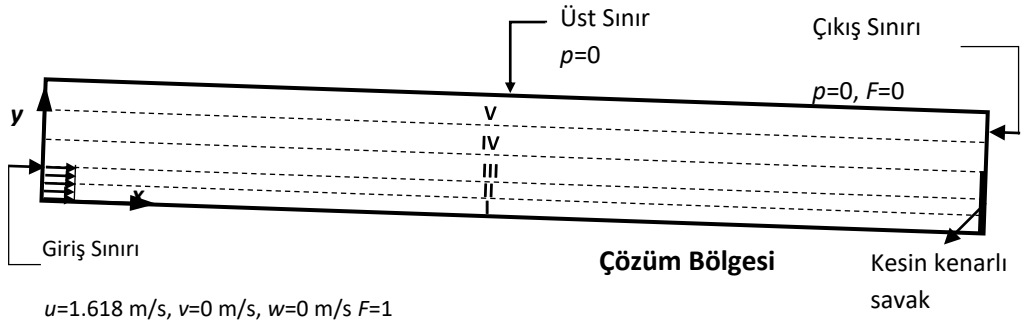
Burada, $u_i'$ ve $u_j'$ türbülans hız sapınçları ve $\mu_t$ türbülans viskozitesi olup $\delta_{ij}$ Kronecker deltadır (i=j için $\delta_{ij}$=1).

RANS denklemlerinde üç boyutlu akışta bir basınç, üç hız, altı türbülans kayma gerilmesi bileşeni ile toplam 10 bilinmeyen bulunur. Buna karşılık her bir doğrultu için birer toplam üç RANS denklemi ve bir süreklilik denklemi bulunmaktadır. Bilinmeyen sayısından az yani dört denklem bulunduğundan denklem sistemi çözülememektedir. Bu sorunun çözümü için araştırmacılar tarafından farklı türbülans kapatma modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında Standart k-ε (SKE) (Launder ve Spalding, 1972), Renormalization Group k- ε modeli (RNG) (Yakhot ve ark., 1992), Shear Stress Transport k-ω (SST) (Menter, 1994) ve RSM (Reynolds Stress Model-Reynold Gerilme Modeli) (Launder ve ark., 1975) olmak üzere toplam dört farklı türbülans modeli kullanılmıştır. Serbest su yüzeyinin belirlenmesinde Akışkan hacimler yöntemi (Volume of Fluid-VOF) yöntemi (Hirt ve Nichols, 1981) kullanılmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 4.1 Çözüm Bölgesi ve Sınır Şartları

Serbest hidrolik sıçramanın meydana geldiği dikdörtgen kesitli açık kanal akımının sayısal modeli için kullanılan çözüm bölgesi ve sınır şartları Şekil 3'te verilmiştir. $x$, $y$ koordinat sisteminin orijini, çözüm bölgesinin sol alt köşesi olarak alınmıştır. Şekilde verilen çözüm bölgesi toplam beş alt bölgeye ayrılmış ve çözüm bölgesinin üst sınırı ve çıkış bölgesi sınır şartı $p$=0, kanal tabanında ve savak yüzeyinde sıfır-hız sınır şartı, yani $u$=0, $v$=0 olarak tanımlanmıştır. Giriş sınır şartı olarak $v$ hızı sıfır olarak alınmış olup, yatay hız bileşeni u değeri ise 1.618 m/s olarak hesaplanmıştır. Giriş sınırında başlangıç şartı olarak F=1 alınmıştır. Bunun anlamı ise bu sınır su ile dolu su girişi buradan olacak demektir. Çözüm bölgesinin tamamı başlangıçta tamamen boş kabul edilmiş olup F=0 olarak tanımlanmıştır.




Şekil 3. Sayısal çözüm bölgesi, başlangıç ve sınır şartları

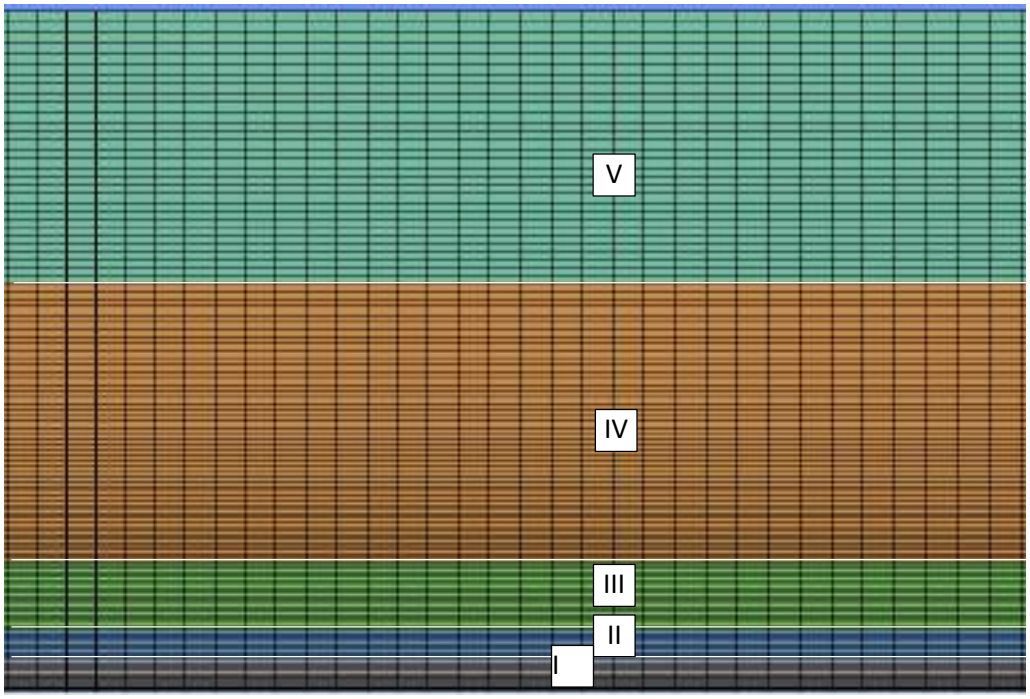
### 4.2 Ağ Yapısının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında oluşturulan modelin çözüm bölgesinde hesaplama ağı beş alt bölgeye ayrılmış ve ağ yapısının sayısal çözüm değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ağ yapısı etkisi ile meydana gelecek ayrıklaştırma hatasının belirlenebilmesi için üç farklı yoğunlukta hesaplama ağı oluşturulmuş ve ağ yapısının her bir alt bölgesindeki eleman sayısı yaklaşık olarak %25 ve %50 oranında arttırılarak üç farklı yoğunluktaki hesaplama ağları oluşturulmuştur. Tablo 1'de sayısal hesaplamalarda kullanılan üç farklı yoğunluktaki ağ yapısı için eleman sayıları verilmiştir.

Ağ yapısının sıklığının yeterliliği yani sayısal çözümün ağ yapısından bağımsız olup olmadığının belirlenebilmesi için Ağ Yakınsama İndeksi (Grid Convergence Index-GCI) (Roache, 1998) yöntemi ile oluşturulan Ağ 1 (Kaba), Ağ 2 (Orta) ve Ağ 3 (İnce) değerlendirilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda nümerik çözümde elde edilen hesaplama hassasiyetinin ağ yoğunluğundan bağımsızlaştığı anlaşılmaktadır

**Tablo 1. Farklı yoğunluktaki hesaplama ağlarına ait bölgesel eleman sayıları**

| **Bölge** | **Ağ 1** (Kaba) | **Ağ 2** (Orta) | **Ağ 3** (İnce) |
|---|---|---|---|
| **1** | 8x200 | 10x250 | 12x300 |
| **2** | 6x200 | 7x250 | 8x300 |
| **3** | 12x200 | 15x250 | 18x300 |
| **4** | 33x200 | 42x250 | 50x300 |
| **5** | 20x200 | 25x250 | 30x300 |




**Şekil 4. Hesaplama Ağı**

### 4.3. Sayısal Modelleme

Bu çalışma kapsamında düşük Froude sayısına sahip akım şartlarında oluşan serbest hidrolik sıçramanın akım özellikleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Dört farklı türbülans modeli ile elde edilen sayısal bulgular ve deneysel bulgular literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

#### 4.3.1. Serbest su yüzü profili ($Fr_1$=2.54)

Serbest hidrolik sıçramanın meydana geldiği açık kanal akımın su yüzü profili deneysel olarak ölçülmüş ve sayısal olarak farklı türbülans kapatma modelleriyle yapılan çözüm sonuçları Denklem 5 ve 6'da sırasıyla verilen Ortalama Karesel Hata (OKH) ve Ortalama Mutlak Göreceli Hata (OMGH) parametrelerine göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda hesap edilen OKH ve OMGH değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre, en az OKH ve OMGH değerinin elde edildiği SKE modelinin kullanılan diğer modellere kıyasla az bir farkla da olsa daha başarılı olduğu ve tüm modeller genel olarak serbest su yüzünü belirlemede başarılı olduğu belirlenmiştir.

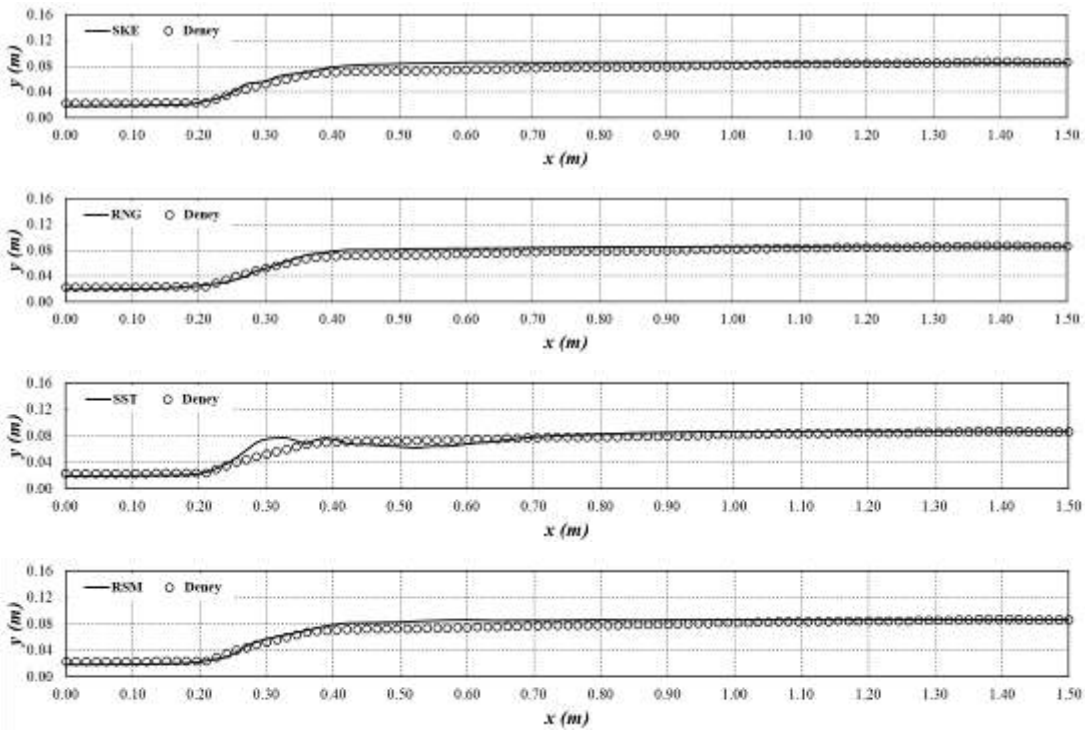
$$\mathrm{OKH} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(u_d - u_h)^2 \qquad \textbf{(5)}$$

$$\text{OMGH} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{|u_d - u_h|}{u_d}\right) \quad \textbf{(6)}$$

**Tablo 2. OKH ve OMGH değerleri**

| | **OKH ($cm^2/s^2$)** | **OMGH (%)** |
|---|---|---|
| **SKE** | **0.3140** | **7.9815** |
| **RNG** | 0.3350 | 8.0853 |
| **RSM** | 0.3274 | 8.0045 |
| **SST** | 0.3726 | 8.1268 |

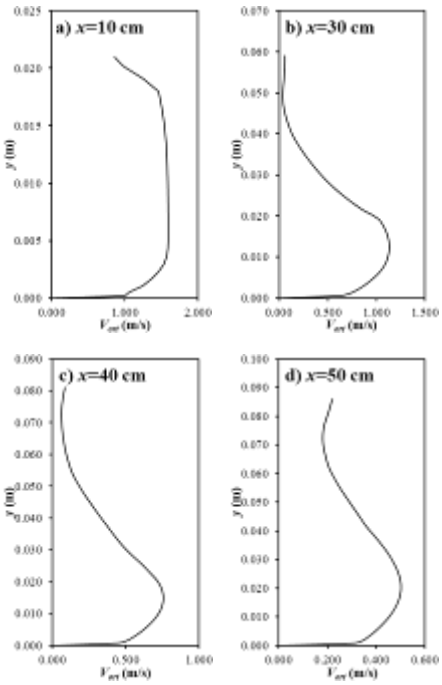
SKE, RNG, SST ve RSM türbülans kapatma modelleri ile elde edilen su yüzü profillerinin grafiksel karşılaştırılması Şekil 5'de verilmiştir. Buna göre, SST dışında tüm modellerin sıçrama bölgesi geometrisini hesaplamada başarılı olduğu, bunun yanında sıçrama sonrası derinliğin hesaplanmasında ise deneysel sonuçlar ile ele alınan tüm türbülans modelleriyle elde edilen sayısal sonuçların birbirine benzer olduğu görülmektedir. Yani SST türbülans kapatma modeli hidrolik sıçramanın gerçekleştiği bölgeyi diğer modeller kadar başarılı modelleyememiştir.

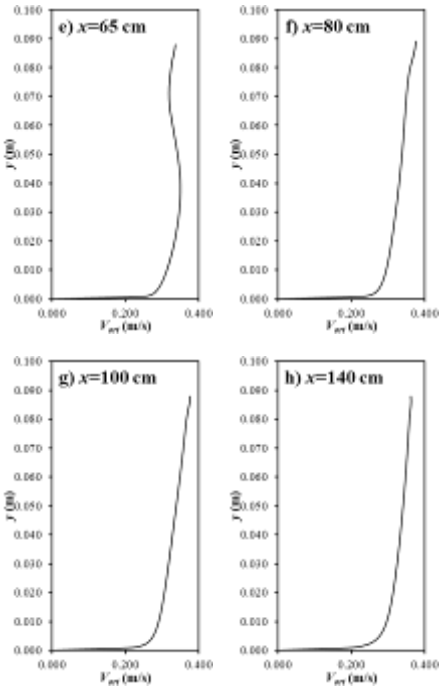



**Şekil 5 Sayısal ve deneysel su yüzü profilleri**

4.3.2. Sayısal Hız profilleri ($Fr_1$=2.54)

En başarılı model olan SKE modeliyle sayısal olarak hesaplanan hız profilleri Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre, sıçrama öncesi (x=10 cm) oluşan hız profillerinin ortalama hız değerleri 1.6 m/s civarında olup benzer bir profil sergilemektedir. Sıçramanın başladığı noktadan 10 cm uzaklıkta bulunan $x$=30 cm kesiti için kanal tabanına yakın olan bölgede yaklaşık 1 m/s civarında maksimum hıza sahip bir jet akımı oluşturduğu ve su yüzeyine yakın bölgede ise düşük bir hız değeri aldığı görülmektedir. Kanal sonuna doğru ilerledikçe su derinliğinin artmasına paralel olarak maksimum hızın azaldığı görülmektedir. Ayrıca SKE modelinde jet akımının yaklaşık $x$=65 cm'de klasik açık kanal akım profiline yakın bir profil sergilediği ve çalışma alanının sonuna doğru ise açık kanal akım profili sergilediği yani sıçrama etkisinden kurtulduğu görülmektedir. Buna göre, sıçrama bölgesinin içinde yer aldığı çalışma alanı için SKE türbülans kapatma modeli ile hesaplanan sayısal hız profillerinin yapısı incelendiğinde, SKE modelinin sıçrama sonlandıktan sonra hız profillerini vermede McCorquodale ve Khalifa (1983) sonuçlarına benzer bir yapı sergilediği ve buna bağlı olarak su yüzü profilinin hesaplanmasında benzer bir şekilde hız profilini de belirlemede başarılı olduğu görülmüştür.






**Şekil 6. SKE modeli ile elde edilen ortalama akım hız profilleri**

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada laboratuvar ortamında hidrolik sıçrama öncesi kesitte Froude sayısı 2.54 olan akım durumunda meydana gelen hidrolik sıçramanın karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak modellenmiştir. Farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal model sonuçları deneysel bulgular ile karşılaştırılmıştır. Buna göre;

- Sayısal model sonuçları üzerinde etkisinin olduğu bilinen ağ yapısının sıklığının yeterliliği, yani sayısal çözümün ağ yapısından bağımsız olup olmadığının belirlenebilmesi için GCI yöntemi değerlendirilmiş ve nümerik çözümde elde edilen hesaplama hassasiyetinin ağ yoğunluğundan bağımsızlaştığı belirlenmiştir.

- Serbest su yüzünün belirlenmesinde, SST dışında tüm modellerin sıçrama bölgesi geometrisini hesaplamada başarılı olduğu, bunun yanında sıçrama sonrası derinliğin hesaplanmasında ise deneysel sonuçlar ile ele alınan tüm türbülans modelleriyle elde edilen sayısal sonuçların birbirine benzer olduğu görülmüştür.

- Sayısal hız profillerine göre, sıçrama bölgesinin içinde yer aldığı çalışma alanı için SKE türbülans kapatma modeli ile hesaplanan profillerin yapısının literatür ile uyumlu olduğu, yani su yüzü profillerini belirlemede başarılı olan modelin hız profillerini hesaplamada da başarılı olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen bulgulara göre, serbest hidrolik sıçrama gibi değişken bir yapıya sahip karmaşık bir akım türünün uygun ağ yapısı ve türbülans modeli ile başarılı bir şekilde belirlenebileceği sonucuna varılmıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (HÜBAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No:19118).

## KAYNAKLAR

Alikhani, A., Behrozi-Rad, R., and Fathi-Moghadam, M., 2010. Hydraulic jump in stilling basin with vertical end sill. International Journal of Physical Sciences, 5(1):25-29.

Carvalho, R. F., Lemos, C. M., & Ramos, C. M. (2008). Numerical computation of the flow in hydraulic jump stilling basins. Journal of Hydraulic Research, 46(6), 739-752.

Chippada, S., Ramaswamy, B., & Wheeler, M. F. (1994). Numerical simulation of hydraulic jump. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 37(8), 1381-1397.

Gharangik, A. M., & Chaudhry, M. H. (1991). Numerical simulation of hydraulic jump. Journal of hydraulic engineering, 117(9), 1195-1211.

Gümüş, V., Aköz, M. S. ve Kırkgöz, M. S. (2013). Kapak Mansabında Batmış Hidrolik Sıçramanın Deneysel ve Sayısal Modellenmesi. İMO-Teknik Dergi, 24(2): 6379-6397.

Gümüş, V., Aköz, M. S., Şımşek, O., Soydan, N. G. ve Kırkgöz, M. S. (2012). Experimental and Numerical Modeling of Free Hydraulic Jump Downstream of a Gate. 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, Ankara-Turkey.

Hager, W. H., and Li, D., 1992. Sill-controlled energy dissipator. Journal of Hydraulic Research, 30(2):165-181

Hirt, C. W., and Nichols, B. D. (1981). "Volume of fluid (Vof) method for the dynamics of free boundaries." J. Comput. Phys., 39(1), 201–225.

Launder, B. E., and Spalding, D. B. (1972). Lectures in mathematical models of turbulence, Academic, New York.

Launder, B. E., Reece, G. J., and Rodi, W. (1975). "Progress in the development of a Reynolds-stress turbulence closure." J. Fluid Mech., 68(3), 537.

Liu, M., Rajaratnam, N., and Zhu, D. Z., 2004. Turbulence structure of hydraulic jumps of low Froude numbers. Journal of Hydraulic Engineering, 130(6):511-520.

Ma, F., Hou, Y. ve Prinos, P., "Numerical calculation of submerged hydraulic jump", Journal of Hydraulic Research, 39(5), 1-11, 2002.

McCorquodale, J. A., & Khalifa, A. (1983). Internal flow in hydraulic jumps. Journal of Hydraulic Engineering, 109(5), 684-701.

Menter, F. R. (1994). "2-equation Eddy-viscosity turbulence models for engineering applications." AIAA J., 32(8), 1598–1605.

Özbay, Ö., 2008. Şüt Kanallarına Yerleştirilen Farklı Tip Enerji Kırıcı Blokların İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

Padulano, R., Fecarotta, O., Del Giudice, G., and Carravetta, A., 2017. Hydraulic Design of a USBR Type II Stilling Basin. Journal of Irrigation and Drainage Engineering:04017001

Pillai, N. N., Goel, A., ve Dubey, A. K., 1989. Hydraulic jump type stilling basin for low Froude numbers. Journal of Hydraulic Engineering, 115(7):9899

Roache, P. J. (1998). "Verification of codes and calculations." AIAA J., 36(5), 696–702.

Yakhot, V., Orszag, S. A., Thangam, S., Gatski, T. B., and Speziale, C. G. (1992). "Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique." Phys. Fluids A, 4(7), 1510–1520.

# LIFE CYCLE ASSESSMENT OF SOLAR PHOTOVOLTAIC ELECTRICITY GENERATION POWER PLANT: A CASE STUDY OF KAYSERİ TURKEY

Nesrin KAYATAŞ DEMİR

Department of Energy Systems Engineering, Erciyes University, 38039 Kayseri, Turkey

nkayatas@erciyes.edu.tr

Melike ÖZATA

Department of Energy Systems Engineering, Erciyes University, 38039 Kayseri, Turkey

Melikeozata9652@gmail.com

Akif TAŞKIN

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Erciyes University, 38039 Kayseri, Turkey, taskinakif@gmail.com

**ABSTRACT**: Energy related topics essentially occupy the world with respect to the environmental, economic, political and security affairs. Generation of electricity is primary factor of environmental impacts in global scale. Regardless of whether the power source is renewable or non-renewable environmental impacts of the electricity generation technique must be analyzed to obtain sustainable development. Life cycle assessment is useful tool to evaluate the environmental energy relation of a system or product during its lifetime. In this study, environmental and energy impacts of 55 MWp capacity solar photovoltaic power plant, installed in Kayseri Organized Industrial Zone, are analyzed. SimaPro PhD 8.4.1.0 software is used for calculations. Inventory data is collected from the power plant, Ecoinvent database and literature. Three different functional units are selected such as 1kWh electricity delivered to the grid, number panels and panel installed area. CML-IA Baseline, version 3.04 and Cumulative Energy Demand, version 1.09 are used for environmental and energy calculations, respectively. Results show that; 8.30E-02 kg CO2 eq/kWh, 1.61E+02 kg $CO_2$ eq/$m^2$ and 7.37E+02 are calculated in terms of global warming potential and total cumulative energy demand calculated as 2.66E+09.

**Key words:** Climate change, life cycle assessment, solar energy, sustainable development.

## INTRODUCTION

Energy based problems have been playing crucial role around the world since the last decades. Increase in the energy demand leads to the social, economic and environmental problems. Global interest concentrated to solve these problems to provide sustainable development. Electricity and heat production are the largest contributor on the total $CO_2$ emissions by sector in the global range with 49.04 % (Our World in Data, 2017). Gross electricity generation trend in the world has been tending to use renewable energy sources but non-renewable energy source use such as coal and natural gas is still mainly occupying the world electricity production by power source (International Energy Agency, 2019). There are several electricity generation technologies with the advantages and disadvantages according to the power source, efficiency, environmental impact and economic factors. Among the renewable energy sources solar energy has been attracting the attention in terms of the clean and sustainable characteristics. In 2018, electricity generation from solar energy expanded rapidly and the growth of the electricity generation from renewable energy sources was provided mainly by the solar energy with 40% share (BP Statistical Review of World Energy, 68$^{th}$ Edition, 2019). Table 1 gives information about the status of the electricity generation methods of the Turkey. Table 1 illustrates that solar energy shares 6.11 % of total installed power with 6430 power plants (Turkish Electricity Transmission Corporation, 2019).

Increase in the electricity production accelerates the formation of environmental impacts, therefore these impact values must be calculated and analyzed to provide sustainable development (A.F. Sherwani, J.A. Usmani, Varun, 2010). All the energy generation methods generate the environmental impacts in different loads through operation, manufacturing, installation, decommissioning and recycling stages. Life cycle assessment (LCA) is useful approach to calculate the environmental and energy impacts of the electricity generation technologies (R. Turconi, A. Boldrin, T. Astrup, 2013). In this study, environmental and energy analysis of 55 MWp capacity solar power plant are performed. Inventory data is gathered from the power plant, Ecoinvent database and literature. Collected data is compiled by SimaPro PhD 8.4.1.0 LCA software. 1kWh electricity delivered to the grid, number panels and panel installed area are selected as functional units.

**Table 1. Distribution of Primary Energy Sources in Turkey**

| Power Source | Power Plant | Installed Power (MW) | Installed Power (%) |
|---|---|---|---|
| River | 545 | 7854.7 | 8.69 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Asphaltite Coal | 1 | 405 | 0.45 |
| Waste Heat | 76 | 339.6 | 0.38 |
| Dam | 122 | 20582.4 | 22.77 |
| Biomass | 158 | 706.8 | 0.78 |
| Natural Gas | 328 | 26035.8 | 28.80 |
| Fuel Oil | 15 | 487.2 | 0.54 |
| Solar | 6430 | 5528.1 | 6.11 |
| Import Coal | 14 | 8938.9 | 9.89 |
| Geothermal | 48 | 1335.5 | 1.48 |
| Lignite | 48 | 10101 | 11.17 |
| LNG | 1 | 2 | 0.00 |
| Wind | 259 | 7270 | 8.04 |
| Hard Coal | 4 | 810.8 | 0.90 |
| Total | 8.051 | 90403.4 | 100 |

## METHODS

In this work, environmental and energy life cycle analysis of 55 MWp capacity solar power plant is carried out by considering the IS0 14040 and ISO 14044 standards (ISO, 1997), (ISO, 2006). Goal of this study is to calculate environmental and energy impacts of 55MWp capacity solar photovoltaic power plant installed in Kayseri. Within this scope, field researches are performed on the power plant and life cycle inventory data are collected from plant area, literature, technicians and Ecoinvent database with respect to the system boundaries. System boundary is selected according to the site-specific data to analyze the impacts properly and given as follows:

- Panel, electronics, inverter and auxiliary components production and operation,
- Plant construction,
- 1 kWh electricity delivery to the grid.

In a typical LCA study functional unit must be defined to normalize and compare the results with other systems. For this work, functional units are selected as 1 kWh electricity output, number of panels and panel installed area. Moreover, to obtain more precise results in consideration of system boundaries some assumptions are made as follows:

- Lifetime of the plant is 25 years,

- Decrease in the efficiency about 1% per year,
- Inverter maintenance per 6 months,
- All panels are accepted as multi-Si panels,
- Panel cleaning: 10 cleaners works with distilled water to clean 1MW panel per day.

CML-IA Baseline and Cumulative Energy Demand impact methods are used for the impact assessments and characterization factors are selected according to these impact methods. Inventory data are gathered according the Table 2. Installed power, area, panel capacity, number of panels, inverter type and annual generated electricity are given in the Table 2, separately. Canadian Solar, Solar Frontier, Hanwha and Hanwha Tracker panels are used. ABB and Huawei brand inverters are assembled on the plant. The solar power plant consists of four different locations as given in the following table. In a typical LCA model data have some uncertainties. In this study, SimaPro PhD is run Monte Carlo analysis to define the uncertainties on the results and following parameters are considered;

- Impact assessment method,
- Fixed number of runs,
- Stop factor.

In this work impact assessment method is selected as CML-IA Baseline, number of runs 1000 times and stop factor as 0.005 for uncertainty analysis. Moreover, uncertainty results are not used for comparison because of the considered one system as solar power plant.

**Table 2. Characteristics of Solar Power Plant**

| | Installed Power (MWp) | Area ($m^2$) | Panel Capacity (W) | Number of Panels | Inverter | Annual Electricity Production (kWh) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Plant 1 | 6.8 | 120,000 | 255W Canadian Solar | 26,496 | 6 ABB PVS800 | 10,829,701 |
| Plant 2 | 11.5 | 265,000 | 170W Solar Frontier | 67,640 | 10 ABB PVS800 | 19,500,000 |
| Plant 3 | 32.4 | 515,000 | 305 W 310W Hanwha | 104,652 | 27 ABB PVS800 | 50,000,000 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Plant 4 | 4.2 | 68,000 | 345W Hanwha | 12,258 | 68 HUAWEI SUN2000 60-KTL-MO | 8,000,000 |
| Total | 55 | 968,000 | - | 211,046 | 111 | 88,329,701 |

## RESULTS AND FINDINGS

Electricity generation is calculated by considering the 1% loss in the efficiency. Generated electricity results per years are given in the Table 3, Table 4 and Table 5.

**Table 3. Annual Energy Production of Solar Power Plant in 25 Years**

| | First Year | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plant 1 | 1.083E+07 | 1.072E+07 | 1.061E+07 | 1.051E+07 | 1.040E+07 | 1.030E+07 | 1.020E+07 | 1.009E+07 |
| Plant 2 | 1.950E+07 | 1.931E+07 | 1.911E+07 | 1.892E+07 | 1.873E+07 | 1.854E+07 | 1.836E+07 | 1.818E+07 |
| Plant 3 | 5.000E+07 | 4.950E+07 | 4.901E+07 | 4.851E+07 | 4.803E+07 | 4.755E+07 | 4.707E+07 | 4.660E+07 |
| Plant 4 | 8.000E+06 | 7.920E+06 | 7.841E+06 | 7.762E+06 | 7.685E+06 | 7.608E+06 | 7.532E+06 | 7.457E+06 |
| Total | 8.833E+07 | 8.745E+07 | 8.657E+07 | 8.571E+07 | 8.485E+07 | 8.400E+07 | 8.316E+07 | 8.233E+07 |

**Table 4. Annual Energy Production of Solar Power Plant in 25 Years (Continued)**

| | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plant 1 | 9.993E+06 | 9.893E+06 | 9.794E+06 | 9.696E+06 | 9.599E+06 | 9.503E+06 | 9.408E+06 | 9.314E+06 |
| Plant 2 | 1.799E+07 | 1.781E+07 | 1.764E+07 | 1.746E+07 | 1.728E+07 | 1.711E+07 | 1.694E+07 | 1.677E+07 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plant 3 | 4.614E+07 | 4.568E+07 | 4.522E+07 | 4.477E+07 | 4.432E+07 | 4.388E+07 | 4.344E+07 | 4.300E+07 |
| Plant 4 | 7.382E+06 | 7.308E+06 | 7.235E+06 | 7.163E+06 | 7.091E+06 | 7.020E+06 | 6.950E+06 | 6.880E+06 |
| Total | 8.151E+07 | 8.069E+07 | 7.988E+07 | 7.908E+07 | 7.829E+07 | 7.751E+07 | 7.674E+07 | 7.597E+07 |

**Table 5. Annual Energy Production of Solar Power Plant in 25 Years (Continued)**

| | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plant 1 | 9.221E+06 | 9.129E+06 | 9.038E+06 | 8.947E+06 | 8.858E+06 | 8.769E+06 | 8.681E+06 | 8.595E+06 | 8.509E+06 | 2.298E+08 |
| Plant 2 | 1.660E+07 | 1.644E+07 | 1.627E+07 | 1.611E+07 | 1.595E+07 | 1.579E+07 | 1.563E+07 | 1.548E+07 | 1.532E+07 | 4.137E+08 |
| Plant 3 | 4.257E+07 | 4.215E+07 | 4.173E+07 | 4.131E+07 | 4.090E+07 | 4.049E+07 | 4.008E+07 | 3.968E+07 | 3.928E+07 | 1.061E+09 |
| Plant 4 | 6.812E+06 | 6.744E+06 | 6.676E+06 | 6.609E+06 | 6.543E+06 | 6.478E+06 | 6.413E+06 | 6.349E+06 | 6.285E+06 | 1.697E+08 |
| Total | 7.521E+07 | 7.446E+07 | 7.371E+07 | 7.298E+07 | 7.225E+07 | 7.152E+07 | 7.081E+07 | 7.010E+07 | 6.940E+07 | 1.874E+09 |

Table 6 gives information about the impact categories according to the CML-IA Baseline methods. All the impact results are divided to the total energy generation and delivered to the grid as 1.874E+09 to compare the results with other energy generation technologies. Thus, emissions per kWh values are calculated. GWP per kWh is 8.30E-02 kg $CO_2$ eq/kWh as given in the Table 6. It means that for every kWh electricity delivered to the grid emits 8.30E-02 kg $CO_2$ emissions to the atmosphere.

**Table 6. Total Impacts and Emissions per kWh of Solar Power Plant**

| **Impact category** | **Unit** | **Total** | **Emissions per kWh** |
|---|---|---|---|
| Abiotic depletion | kg Sb eq/kWh | 4.77E+03 | 2.54E-06 |
| Abiotic depletion (fossil fuels) | kWh | 4.88E+08 | 2.61E-01 |
| Global warming (GWP100a) | kg $CO_2$ eq/kWh | 1.56E+08 | 8.30E-02 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ozone layer depletion (ODP) | kg CFC-11 eq/kWh | 2.75E+01 | 1.47E-08 |
| Human toxicity | kg 1.4-DB eq/kWh | 1.53E+08 | 8.15E-02 |
| Fresh water aquatic ecotoxicity | kg 1.4-DB eq/kWh | 1.33E+08 | 7.12E-02 |
| Marine aquatic ecotoxicity | kg 1.4-DB eq/kWh | 5.99E+11 | 3.20E+02 |
| Terrestrial ecotoxicity | kg 1.4-DB eq/kWh | 5.10E+05 | 2.72E-04 |
| Photochemical oxidation | kg $C_2H_4$ eq/kWh | 5.10E+04 | 2.72E-05 |
| Acidification | kg $SO_2$ eq/kWh | 9.35E+05 | 4.99E-04 |
| Eutrophication | kg $PO_4$ eq/kWh | 3.75E+05 | 2.00E-04 |

Impacts values are divided to the panel areas and panel numbers to calculate the emissions per m² and emissions per panel and given in the Table 7 and Table 8, respectively.

**Table 7. Emissions per m² of Solar Power Plant**

| **Impact category** | **Unit** | **Impacts per m²** |
|---|---|---|
| Abiotic depletion | kg Sb eq/m² | 4.92E-03 |
| Abiotic depletion (fossil fuels) | kWh/ m² | 1.82E+03 |
| Global warming (GWP100a) | kg $CO_2$ eq/m² | 1.61E+02 |
| Ozone layer depletion (ODP) | kg CFC-11 eq/m² | 2.84E-05 |
| Human toxicity | kg 1.4-DB eq/m² | 1.58E+02 |
| Fresh water aquatic ecotox. | kg 1.4-DB eq/m² | 1.38E+02 |
| Marine aquatic ecotoxicity | kg 1.4-DB eq/m² | 6.19E+05 |
| Terrestrial ecotoxicity | kg 1.4-DB eq/m² | 5.27E-01 |

| | | |
|---|---|---|
| Photochemical oxidation | kg $C_2H_4$ eq/m$^2$ | 5.27E-02 |
| Acidification | kg $SO_2$ eq/m$^2$ | 9.66E-01 |
| Eutrophication | kg $PO_4$ eq/ m$^2$ | 3.88E-01 |

**Table 8. Emissions per Panel of Solar Power Plant**

| Impact category | **Unit** | **Total** |
|---|---|---|
| Abiotic depletion | kg Sb eq/panel | 2.26E-02 |
| Abiotic depletion (fossil fuels) | kWh/panel | 2.31E+03 |
| Global warming (GWP100a) | kg $CO_2$ eq/panel | 7.37E+02 |
| Ozone layer depletion (ODP) | kg CFC-11 eq/panel | 1.30E-04 |
| Human toxicity | kg 1.4-DB eq/panel | 7.24E+02 |
| Fresh water aquatic ecotoxicity | kg 1.4-DB eq/panel | 6.32E+02 |
| Marine aquatic ecotoxicity | kg 1.4-DB eq/panel | 2.84E+06 |
| Terrestrial ecotoxicity | kg 1.4-DB eq/panel | 2.42E+00 |
| Photochemical oxidation | kg $C_2H_4$ eq/panel | 2.42E-01 |
| Acidification | kg $SO_2$ eq/panel | 4.43E+00 |
| Eutrophication | kg $PO_4$ eq/panel | 1.78E+00 |

Table 9 provides information about the energy demand of the solar power plant throughout lifetime as 25 years. Values on the table mean that consumed energy according to the source as non-renewables and renewables. Figure 1 represent the Sankey diagram of the provides information about the GWP of the solar power plant in percentage values. Figure provides the information about the contribution of every sub-unit processes on GWP. Thickness of the diagram defines the magnitude of the contribution on GWP of the unit process. This figure guides researchers to determine the hot points of the system by evaluating the percentages. According to the figure multi-Si photovoltaic panel and mounting process share the 68.7% and 27.2% of the total GWP emissions, respectively.

**Table 9. Cumulative Energy Demand of Solar Power Plant**

| Impact category | Unit | Total |
|---|---|---|
| Non-renewable, fossil | kWh | 4.89E+08 |
| Non-renewable, nuclear | kWh | 7.04E+07 |
| Non-renewable, biomass | kWh | 1.37E+05 |
| Renewable, biomass | kWh | 2.11E+07 |
| Renewable, wind, solar, geothermal | kWh | 2.01E+09 |
| Renewable, water | kWh | 7.24E+07 |
| Total | | 2.66E+09 |

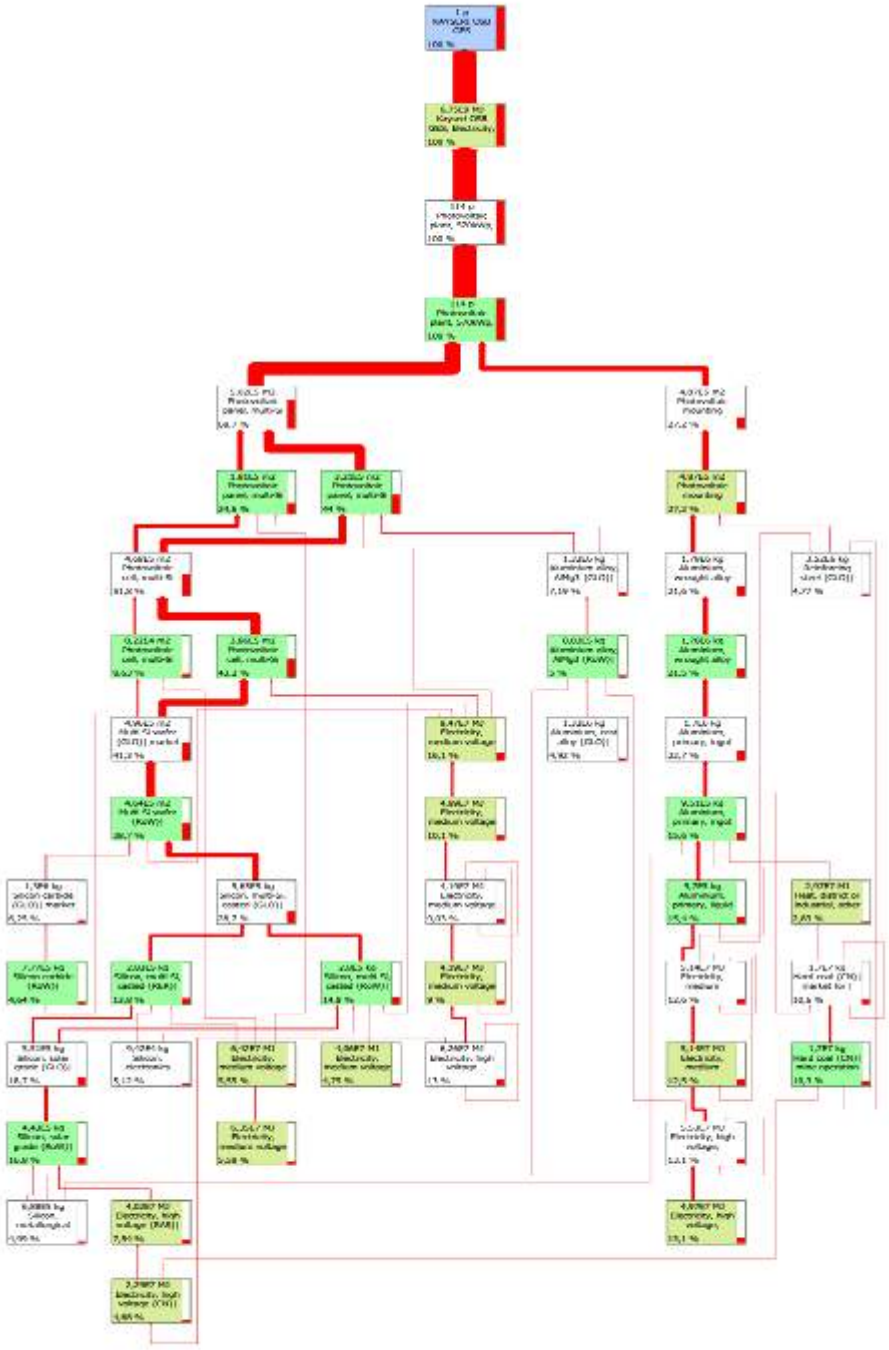


**Figure 1. GWP Impact Analysis of Solar Power Plant (%)**

***Monte Carlo Analysis***

Lognormal distribution of the uncertainty is given in the Figure 2 with the 95% confidence interval for GWP indicator. Mean, median, standard deviation and coefficient of variability for all impact categories are given in the Table 10. Figure 3 represents the uncertainty range as bar charts for each impact category. T lines define

the 95% confidence interval and the magnitude of the T lines show the uncertainty range per impact category.

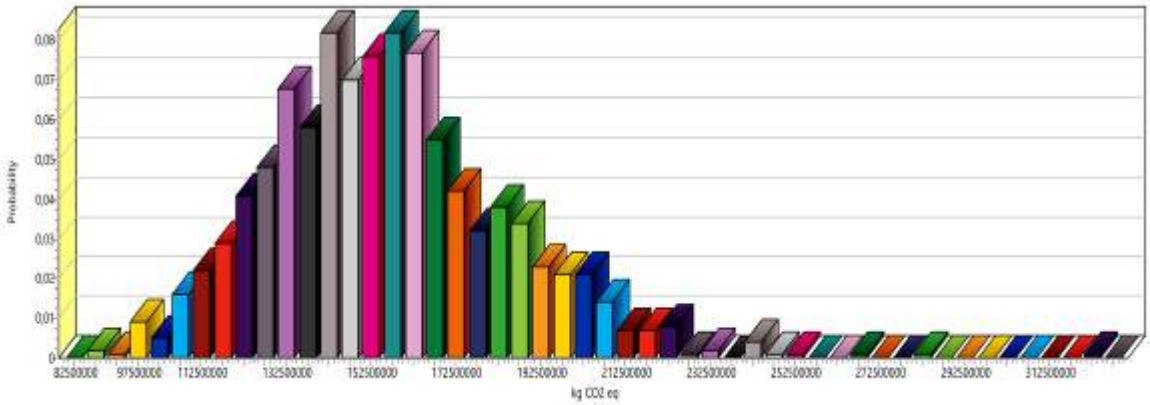



**Figure 2. Lognormal Distribution of GWP Impact**

**Table 10. Uncertainty Data per Impact Category**

| **Impact category** | **Unit** | **Mean** | **Median** | **SD** | **CV %** |
|---|---|---|---|---|---|
| Abiotic depletion | kg Sb eq | 4.78E+03 | 4.65E+03 | 9.78E+02 | 20.48 |
| Abiotic depletion (fossil fuels) | MJ | 1.75E+09 | 1.72E+09 | 3.33E+08 | 18.99 |
| Acidification | kg $SO_2$ eq | 9.40E+05 | 9.22E+05 | 1.79E+05 | 19.07 |
| Eutrophication | kg $PO_4$ eq | 3.74E+05 | 3.40E+05 | 1.52E+05 | 40.57 |
| Fresh water aquatic ecotox. | kg 1.4-DB eq | 1.35E+08 | 1.26E+08 | 4.52E+07 | 33.49 |
| Global warming (GWP100a) | kg $CO_2$ eq | 1.56E+08 | 1.51E+08 | 2.86E+07 | 18.13 |
| Human toxicity | kg 1.4-DB eq | 1.54E+08 | 1.46E+08 | 4.37E+07 | 28.32 |
| Marine aquatic ecotoxicity | kg 1.4-DB eq | 6.03E+11 | 5.72E+11 | 1.73E+11 | 28.66 |
| Ozone layer depletion (ODP) | kg CFC-11 eq | 2.73E+01 | 2.69E+01 | 5.89E+00 | 21.55 |
| Photochemical oxidation | kg $C_2H_4$ eq | 5.12E+04 | 5.00E+04 | 1.02E+04 | 19.91 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Terrestrial ecotoxicity | kg eq | 1.4-DB | 5.12E+05 | 4.98E+05 | 1.11E+05 | 21.64 |

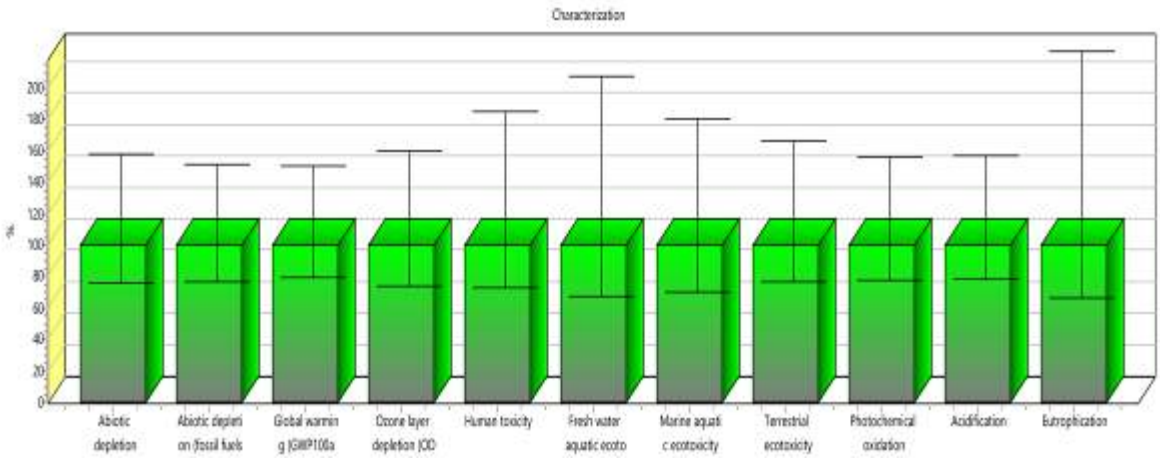



**Figure 3. Uncertainty Data per Impact Category as Bar Chart**

## CONCLUSION

Energy and environment related problems principally deal with the sustainable development concerns on global scale. These problems must be analyzed to determine the magnitude of the problems. Life cycle assessment approach is a useful methodology to define the environmental and energy impacts of a system or a product. In this study environmental and energy analysis of 55 MWp solar photovoltaic power plant are performed. SimaPro LCA software is used to compile the inventory data. Inventory data is collected from the literature, Ecoinvent database and field researches. System boundary and assumptions are defined according to the goal of the study. 1kWh electricity delivered to the grid, panel area in $m^2$ and number of panels selected as functional units. Results show that GWP of the power plant is calculated as 1.56E+08 kg $CO_2$ eq/kWh. Moreover, GWP values for individual electricity generation technologies and calculated value for this study are given in the Table 11. According to Table 11 results of this study are in acceptable range and proven by the literature works.

**Table 11. Mean Global Warming Potential (GWP) of Energy Generation Technologies**

| Energy Generation Technology | Mean Global Warming Potential (GWP) |
|---|---|

| | **$kgCO_2/kWh$** |
|---|---|
| Lignite | 1.054 |
| Coal | 0.088 |
| Oil | 0.073 |
| Natural Gas | 0.049 |
| Biomass | 0.045 |
| Nuclear | 0.029 |
| Hydro | 0.026 |
| Wind | 0.026 |
| Photovoltaic | 0.085 |
| Photovoltaic (This Study) | 0.083 |

This study can be a guide for investors, municipalities or researchers in the field of sustainable production of electricity.

## RECOMMENDATIONS

The authors acknowledge the financially support of Erciyes University Scientific Research Projects Funding Department (ERU-BAP) (Grant No: FDK-2016-6871). Authors also thank to the Administration of Kayseri Organized Industrial Zone for providing the LCI data used in this study.

## REFERENCES

A.F. Sherwani, J.A. Usmani, Varun. (2010). Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14,* 540-544. doi: 10.1016/j.rser.2009.08.003.

BP Statistical Review of World Energy, 68th Edition. (2019). Retrieved 2019, from https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf

$CO_2$ and Greenhouse Gas Emissions. (2018). Retrieved 2019, from https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions.

Electricity Information 2019 Overview, International Energy Agency. (2019). Retrieved 2019, from https://www.iea.org/statistics/electricity/

Installed power report of Turkey, Turkish Electricity Transmission Corporation. (2019). Retrieved 2019, from https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2019-09/KURULU%20G%C3%9C%C3%87%20%C4%B0NTERNET%20%28A%C4%9EUSTOS%20AYI%20SONU%20%C4%B0T%C4%B0BAR%C4%B0%20%C4%B0LE%29.pdf

ISO 14040: Environmental management - life cycle assessment - principles and framework. (1997). Geneve (Switzerland): ISO.

ISO 14044: Environmental management, life cycle assessment, requirements and guidelines. (2006). Geneve (Switzerland): ISO.

R. Turconi, A. Boldrin, T. Astrup. (2013). Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 28,* 555-565. doi: 10.1016/j.rser.2013.08.013.

# THE PROPERTIES OF HYBRID FIBER REINFORCED SELF-COMPACTING CONCRETE WITH DIFFERENT TYPE MICRO FIBER

Kazim TURK, Inonu University,Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Malatya, Turkey, kazim.turk@inonu.edu.tr

Esma ATALAY, Inonu University,Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Malatya, Turkey, esmaatalayinsaat@gmail.com

**ABSTRACT**: In this study, six different fiber reinforced self-compacting concrete (FRSCC) mixtures were adopted; one types of single reinforced mixtures with only macro steel fiber, three types of binary reinforced mixtures with (75% macro steel+25% micro steel fiber) and (1% macro steel fiber+25% PVA) and (1% macro steel fiber+25% PP), two types of ternary reinforced mixtures with (75% macro steel fiber+25% micro steel fiber+25% PVA) and (75% macro steel fiber+25% micro steel fiber+25% PP), were prepared to investigate the effect of different type micro fiber on the mechanical properties of FRSCC. For this reason, all FRSCC mixtures had water/binder ratio of 0.23 and total binder content of 900 kg/m$^3$. Portland cement (PC) and fly ash (FA) were used as binders. The mixtures obtained as a result of workability tests (slump-flow and $T_{50}$) were cured in water at 20 ± 3 ° C at 28 days. Hardened specimens were subjected to compressive strength and tensile strength and four-point bending tests. Finally, it was observed that the addition of micro steel fiber and macro steel fiber together into mixtures had a negative effect on the workability properties of FRSCC specimens. Moreover, while the addition of micro steel fiber and macro steel fiber together into mixtures decreased flexural strength and the capacity of energy absorbtion, the addition of PVA synthetic fiber into mixtures had more positive effect than PP synthetic fiber on the flexural strength and the capacity of energy absorbtion of specimens.

**Key words:** Synthetic fiber, Micro steel fiber, Macro steel fiber, Hybrid fiber, SCC

# FARKLI TİP MİKRO LİF İÇEREN KARMA LİF TAKVİYELİ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN ÖZELLİKLERİ

**ÖZET:** Bu çalışmada, altı farklı lif takviyeli kendiliğinden yerleşen beton (LTKYB) karışımı benimsendi; sadece makro çelik lifli bir tip tek takviyeli karışım, üç tip ikili takviyeli karışım (% 75 makro çelik +% 25 mikro çelik lif) ve (% 1 makro çelik lif +% 25 PVA) ve (% 1 makro çelik lif) +% 25 PP), iki tip üçlü takviyeli karışım (% 75 makro çelik elyaf +% 25 mikro çelik elyaf +% 25 PVA) ve (% 75 makro çelik elyaf +% 25 mikro çelik elyaf +% 25 PP); farklı tip mikro lifin LTKYB'nin mekanik özellikleri üzerindeki

etkisini araştırmak için hazırlanmıştır. Bu nedenle, tüm LTKYB karışımları, 0.23 su / bağlayıcı oranına ve toplam 900 kg / m3 bağlayıcı içeriğine sahipti. Bağlayıcı madde olarak Portland çimentosu (PÇ) ve uçucu kül (UK) kullanılmıştır. İşlenebilirlik testleri (çökme-yayılma ve $T_{50}$) sonucunda elde edilen karışımlar 20±3 $^0$C sıcaklıktaki suda 28 gün kür edilmiştir. Kür edilen numunelere basınç dayanım testi ve dört notalı eğilmede çekme dayanımı testleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, karışıma makro çelik lif ile birlikte mikro lif eklenmesinin işlenebilirlik özelliklerini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, makro çelik lif ile birlikte mikro çelik lifin karışıma eklenmesinin, numunelerin eğilme dayanımını ve enerji yutma kapasitesini azalttığı görülürken, mikro sentetik liflerden PVA lifinin eğilme dayanımı ve enerji yutma kapasitesi üzerinde PP lifine kıyasla daha olumlu bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Sentetik lif, Mikro çelik lif, Makro çelik lif, Karma lif, KYB

## GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen beton, dünyada ilk defa 1980'lerin ikinci yarısında Japonya'da deprem bölgelerindeki sık donatılı betonarme elemanlarda sıkıştırma işlemine gerek olmadan yerleşebilen beton ihtiyacından dolayı geliştirilmiştir (Okamura ve Quchi, 1999). Bileşimlerinde kullanılan hiperakışkanlaştırıcı katkı ile elde edilen düşük su/bağlayıcı oranı ile birlikte hem yüksek dayanıma hem de üstün dayanıklılığa sahip olması nedeniyle KYB'ler yüksek performanslı betonlar sınıfına girebilmektedir (Özkul, M.,H., 2002 ile Sağlam ve ark. 2005). EFNARC'a (2005) göre, bir karışımın KYB olma şartı için, işlenebilirlik testlerine (çökme-yayılma, $T_{50}$, V-hunisi, L-kutusu, U-kutusu gibi ) ait sınır değerlerin sağlanması gerekmektedir.

Lif takviyeli beton ile ilgili ilk çalışmalar ise 1950 ve 1960'larda çelik lif takviyeli betonun mekanik davranışını anlamak amacıyla yapılmıştır (Hannant, D. J., 1987). Birden çok süreksiz lif tipinin karışıma dahil edilmesi ile geleneksel beton matrisinin birleşiminden elde edilen lif takviyeli betona karma lif takviyeli beton denilmektedir (Ding, Y.N., You, Z., Jalali, S., 2010 ile Sukontasukkul, P., Jamsawang, P.,2012). Karma lif takviyeli kompozitte, bir tip lif varlığı diğer lif özelliklerini faydalı kıldığı için daha ilgi çekici mühendislik özellikler sunar (Mobasher, B., Li Cheng, Y.,1996 ile Akcay, B.,2012). Karma lif takviyeli çimento esaslı kompozitlerde uzun ve çekme dayanımı yüksek makro lifler büyük çatlakları, kısa ve çekme dayanımı düşük olan mikro lifler ise çatlak başlaması ve ilerlemesini kontrol amacıyla kullanılırlar (ARAL,M.,2006). Sentetik ve çelik lifin bir arada kullanılması durumunda, çelik lifler yüksek süneklik sağlarken ve betondaki çatlak yayılımını azaltırken, polipropilen lifler ise betondaki parçalanmayı hafifletebilirler (Rodrigues, J. P. C., Laím, L., Correia, A. M.,2010). Şekil değiştirme sertleşmesi gösteren çimento esaslı kompozitte sentetik lif olarak en çok polivinil alkol (PVA) lifleri kullanılmaktadır (Jin-Cheng Liu, Kang Hai Tan.,2017).

Bu çalışmada, mikro lifin karma lif takviyeli KYB'nin işlenebilirlik özellikleri üzerine etkisini belirlemek için çökme-yayılma ve $T_{50}$ testleri gerçekleştirilirken, mekanik özelliklere etkisini incelemek amacıyla da elde edilen karışımlardan üretilen 28 günlük lif takviyeli KYB numuneleri üzerinde basınç dayanımı ile dört noktalı eğilmede çekme dayanımı testleri yapılmıştır.

## DENEYSEL PROGRAM

Deneysel program 2 aşamadan oluşmuştur. Birinci aşamada, taze haldeki lif takviyeli karışımların çökme-yayılma ve $T_{50}$ ölçümleri yapıldı. İkinci aşamada ise, lif takviyeli karışımlarla hazırlanan numunelerin 28 günlük basınç ve eğilmede çekme dayanımları tespit edildi.

### Malzemeler

Bu çalışmadaki bütün karışımlarda bağlayıcı malzeme olarak, CEM I 42.5 R Portland Çimentosu (PC) ile uçucu kül (UK) mineral katkısı kullanıldı. Bağlayıcılara ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir. 0-5 ve 5-10 mm elek aralığına sahip iki farklı tipte agrega kullanılırken, yüksek oranda su azaltıcı özelliğine sahip hiperakışkanlaştırıcı olarak ise Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. tarafından temin edilmiş ve özgül ağırlığı 1.06 olan ViscoCrete Hi-Tech 51 kullanıldı. 0-5 ve 5-10 mm agregalarına ait su emme değerleri sırasıyla, %2.2 ve %0.3, özgül ağırlık değerleri ise sırasıyla, 2.49 ve 2.63 olarak bulunmuştur. Karışımlarda makro çelik lif 3D 65/35 ve mikro çelik lif OL 6/.16 kullanılırken, sentetik olarak ise PVA ve PP mikro lifleri tercih edildi. Bu liflere ait özellikler Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 1. Portland Çimentosu ve Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri**

| Çimentolu Malzemeler | Kompozisyon (%) | | | | | | | | | Özgül Ağırlık (g/cm$^3$) | Yüzey Alanı (cm$^2$/g) | İncelik (<45□m) (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $SO_3$ | $K_2O$ | $Na_2O$ | LOI | | | |
| PC | 19.41 | 5.58 | 3.67 | 58.85 | 2.12 | 3.16 | 0.69 | 0.61 | 6.07 | 3.06 | 4891 | 1.1 |
| UK | 63.04 | 21.63 | 6.77 | 1.07 | - | 0.10 | - | - | 2.6 | 2.3 | - | 21 |

**Tablo 2. Makro ve Mikro Liflerin Özellikleri**

| Lif Adı | Lif Türü | Uzunluk (mm) | Narinlik | Çekme Dayanımı (MPa) | Elastisite Modülü (GPa) | Yoğunluk (g/cm$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3D 65/35 | Çelik Lif | 35 | 65 | 1345 | 200 | 7.8 |
| OL 6/16 | Çelik Lif | 6 | 40 | 3000 | 200 | 7.2 |
| PVA | Sentetik Lif | 8 | 200 | 1600 | 41 | 1.3 |
| PP | Sentetik Lif | 6 | - | 350 | - | 0.91 |

**Karışım Oranları**

Sadece makro çelik lif içeren 1 adet tek lifli karışım, %75 makro çelik lif ve %25 mikro çelik lif ile %1 makro çelik lif ve ayrı ayrı %25 PVA ile %25 PP sentetik lif içeren toplam 3 adet ikili lif karışımı ve %75 makro çelik lif ve %25 mikro çelik lif ve ayrı ayrı %25 PVA ile %25 PP sentetik lif içeren toplam 2 adet üçlü lif karışımı olmak üzere toplam 6 adet lif takviyeli kendiliğinden yerleşen beton karışımı tasarlanmıştır Tablo 3'te agregaların doygun kuru yüzey alındığı lif takviyeli beton karışım oranları verilmiştir.

**Tablo 3. Karışım Oranları (kg / m³)**

| Karışım Adı | PÇ | UK | Su | Çelik Lif | | Sentetik Lif | | Agrega | | Akışkan-laştırıcı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 3D 65/35 | OLI 6/16 | PVA | PP | 0-5 mm | 5-10 mm | |
| TKLF | 600 | 300 | 204 | 80 | 0 | 0 | | 952.0 | 168.0 | 16 |
| MAK1.00+PVA0.25 | 600 | 300 | 204 | 80 | 0 | 3.25 | 0 | 918.5 | 162.1 | 20 |
| MAK1.00+PP0.25 | 600 | 300 | 204 | 80 | 0 | 0 | 2.38 | 922.6 | 162.8 | 18 |
| MAK0.75+MİK0.25 | 600 | 300 | 204 | 60 | 20 | 0 | 0 | 949.5 | 167.6 | 19 |
| MAK0.75+MİK0.25 +PVA0.25 | 600 | 300 | 204 | 60 | 20 | 3.25 | 0 | 914.0 | 161.3 | 22 |
| MAK0.75+MİK0.25 +PP0.25 | 600 | 300 | 204 | 60 | 20 | 0 | 2.38 | 914.0 | 161.3 | 22 |

*TKLF: Tek Lif Katkılı, MAK: Makro Çelik Lif, MİK: Mikro Çelik Lif, PVA: Polivinil Alkol Lifi, PP: Polipropilen Lifi, İsimlendirmedeki rakamlar karışım içindeki yüzdece lif oranını belirtmektedir.

**Numunelerin Hazırlanması**

Karışımlara kendiliğinden yerleşen beton için esas alınan işlenebilirlik testleri olarak çökme-yayılma ve $T_{50}$ yapıldı. Tüm karışımlara özellikle çökme-yayılma değerlerinin EFNARC'ın belirlediği sınırlar (650-800 mm) içerisinde kalması için yeteri miktarda hiperakışkanlaştırıcı katıldı. Karışımların hepsinde homojenliği sağlamak amacıyla karıştırılma süreleri sabit tutuldu. Agregalar ve çelik lifler karışım suyunun 2/3 oranıyla 3 dakika karıştırıldı. Daha sonra çimento, uçucu kül, yüksek oranda su azaltıcı özelliğine sahip hiperakışkanlaştırıcı ve karışım suyunun kalan 1/3 oranıyla 15 dakika karıştırıldı. Sentetik lifler topaklanmayı önlemek amacıyla 7. dakikada azar azar eklendi. Basınç dayanımı testi için 100 x 100 x 100 $mm^3$ küp numuneler, dört noktalı eğilmede çekme dayanımı testi için 400 x 100 x 100 $mm^3$ prizma numuneler 28 gün kür edildi.

**Test Yöntemleri**

***Taze Beton İçin İşlenebilirlik Testleri***

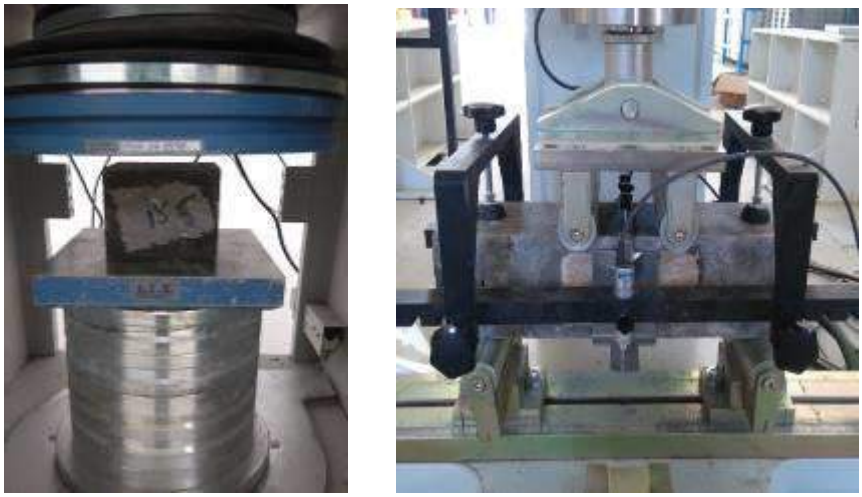
KYB hazırlanırken EFNARC'a [4] göre, bir karışımın KYB olma şartlarından olan çökme-yayılma ve $T_{50}$ testleri yapıldı. Çökme-yayılma testinde düz bir plaka üzerinde kesik koni doldurularak dik bir şekilde yukarıya kaldırıldı. Çökme-yayılma çapı birbirine dik iki boyutun ortalamasıyla belirlendi ve $T_{50}$ süresine bakıldı (Şekil 1).

(a) (b)

**Şekil 1. İşlenebilirlik Testleri : a) $T_{50}$ , b) Çökme-Yayılma Çapı**

### *Sertleşmiş Beton İçin Basınç ve Eğilme Dayanımı Testleri*

Lif takviyeli KYB karışımların dayanım testlerinde her bir karışım için, basınç dayanımının belirlenmesinde 100 x 100 x 100 $mm^3$ boyutundaki 3 küp numunenin ortalaması kullanıldı, dört noktalı eğilmede çekme dayanımının belirlenmesinde ise 400 x 100 x 100 $mm^3$ boyutundaki 2 prizma numunenin ortalaması kullanıldı (Şekil 2).



(a) (b)

**Şekil 2. Sertleşmiş Beton Testleri : a) Basınç Dayanımı, b) Dört Noktalı Eğilmede Çekme Dayanımı**

## BULGULAR ve TARTIŞMA

### *Taze Beton Özellikleri*

Tek ve karma lif takviyeli KYB karışımlarının taze haldeki özelikleri Tablo 4'te verilmiştir. Tüm karışımların çökme-yayılma değerleri EFNARC'ın belirlediği sınırlar (650-800 mm) içerisinde kalmıştır. Lif takviyeli KYB karışımlarının işlenebilirlik testlerinden elde edilen bulgulara bakıldığında, tek lifli KYB karışımına kıyasla hem çelik hem de sentetik mikro liflerin karışıma dahil edilmesinin işlenebilirlik özellikleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir. Mikro lif içeren karışımlara bakıldığında, mikro çelik lifler ile sentetik lifler karşılaştırıldığında hem PVA hem de PP lifler karışımların işlenebilirlik özellikleri üzerinde daha fazla negatif etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Sentetik lifler kendi arasında karşılaştırıldığında ise PVA lifin PP lifine göre karışımların işlenebilirliğini daha fazla azalttığı gözlemlenmiştir.

**Tablo 4. $T_{50}$ Süreleri ve Çökme-Yayılma Çapları**

| Karışım Adı | $T_{50}$(s) | Çökme-Yayılma Çapı (mm) |
|---|---|---|
| TKLF | 5 | 730 |

| | | |
|---|---|---|
| MAK1.00+PVA0.25 | 7 | 660 |
| MAK1.00+PP0.25 | 6 | 720 |
| MAK0.75+MİK0.25 | 7 | 720 |
| MAK0.75+MİK0.25+PVA0.25 | 7 | 660 |
| MAK0.75+MİK0.25+PP0.25 | 6 | 710 |

***Basınç ve Eğilmede Çekme Dayanımı***

Tek ve farklı tip sentetik lif içeren ikili ve üçlü karma lif takviyeli KYB karışımlarına ait mekanik özellikler Tablo 5'te verilmiştir. Lif takviyeli KYB karışımlarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen testlerden elde edilen bulgulara bakıldığında, tek lifli karışımlara kıyasla, mikro çelik lifin basınç dayanımının gelişimi üzerinde azda olsa olumlu bir etkiye sahip olduğu görülürken, sentetik liflerin basınç dayanımını %4 ile %10 arasında azalttığı bulunmuştur. Sentetik liflerin basınç dayanımı üzerindeki etkisi incelendiğinde ise PP lifinin PVA lifine göre basınç dayanımı üzerinde daha fazla olumsuz etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Bakınız Tablo 5). Mikro çelik liflerin basınç dayanımını arttırması mikro çatlakları köprüleyerek mikro çatlak oluşumunu ertelemesine ve çatlakların yayılmasını önlemesine dayandırılabilir (Haddadou ve ark.,2014).

Dört noktalı eğilme deneyinden elde edilen eğilmede çekme dayanımı bulguları incelendiğinde ise tek lifli karışıma kıyasla, KYB karışımına çelik mikro lif ilave edilmesinin eğilmede çekme dayanımını azalttığı tespit edilmiştir. Çünkü makro çatlakları köprüleyen makro liflerin mikro liflerle yer değiştirilerek azalmasının sonucu olarak çekme dayanımı azalmıştır. Bu benzer bulgu Haddaou ve arkadaşları (2014) tarafından da bulunmuştur. Bunun yanında, hem tek lifli hem de makro çelik ve mikro çelik liften oluşan ikili karışımlara sentetik liflerin dahil edilmesinin eğilmede çekme dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Sentetik lifler kendi arasında kıyaslandığında ise PVA lifi PP lifine göre daha yüksek performans sergilemiştir. Böylece karışıma ikinci ve/veya üçüncü lif olarak sentetik lif eklenmesine bağlı olarak açığa çıkan sinerjinin çekme dayanımını arttırdığı sonucuna varılabilir.

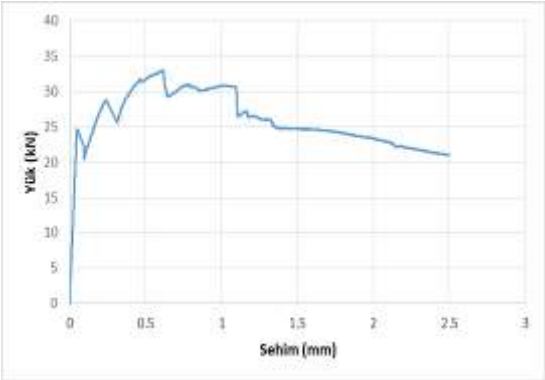
**Tablo 5. Lif Takviyeli KYB Karışımlarına ait Dayanım Değerleri**

| Karışım Adı | Basınç Dayanımı (MPa) | Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa) | Sehim (mm) |
|---|---|---|---|
| TKLF | 96.10 | 10.15 | |
| MAK1.00+PVA0.25 | 92.40 | 11.39 | 1.16 |
| MAK1.00+PP0.25 | 86.45 | 10.24 | 0.64 |
| MAK0.75+MİK0.25 | 96.75 | 9.49 | 1.26 |

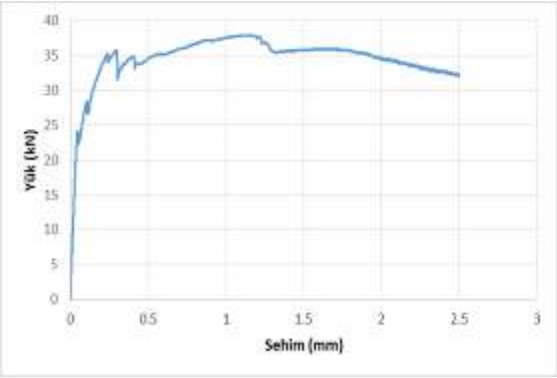
| | | | |
|---|---|---|---|
| MAK0.75+MİK0.25+PVA0.25 | 90.45 | 10.04 | 1.86 |
| MAK0.75+MİK0.25+PP0.25 | 87.60 | 9.74 | 1.46 |

***Yük-Sehim Eğrileri***

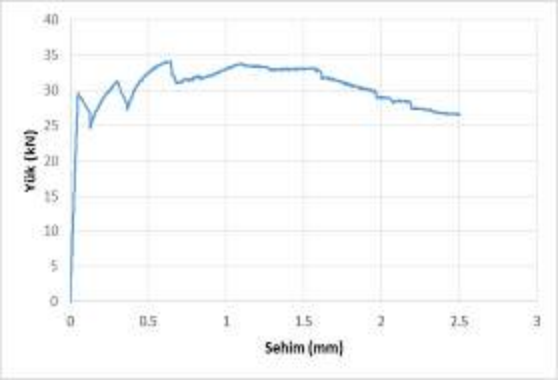
Tekli, ikili ve üçlü lif içeren KYB karışımlardan üretilen 100*100*400 $mm^3$ prizma numunelerin sehim kontrollü dört noktalı eğilme testi sonucu elde edilen yük-açıklık ortası sehim eğrileri Şekil 4'te gösterilmiştir. Tablo 5'te verilen açıklık ortası sehim değerleri maksimum eğilme dayanımına karşılık gelen sehimdir. Şekil 4'te görüldüğü gibi, bu çalışmaya konu olan bütün lif takviyeli KYB karışımlarına ait numunelerin yük-sehim eğrileri maksimum yükten sonra yavaş yavaş azalarak sehim-sertleşmesi davranışı sergilemiştir. Tekli, ikili ve üçlü lif içeren KYB karışımlarının yük-sehim eğrileri altında kalan alan dikkate alındığında, %1 makro çelik lif ile %0.25 PVA sentetik lif içeren karışımlardan üretilen numunelerin en fazla enerji absorbe ettiği tespit edilmiştir. Tüm eğrilerden, makro lifin azalmasıyla birlikte yük-sehim eğrileri altında kalan alanın da azaldığı görülmüştür. Makro çelik lif mikro çatlakların oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahip olmamasına rağmen, eğrinin maksimum yük sonrası kısmının oluşmasında etkilidir. Dolayısıyla, yüksek oranda makro lif içeren karışımlarda yük-sehim eğrisi altında kalan alan genelde daha fazla olmaktadır. Benzer sonuçlar aynı zamanda Haddou ve ark. (2014) ile Naaman ve Reinhardt (1995) tarafından yapılan çalışmalarda bulunmuştur. Sadece %1 makro çelik lif içeren karışım ile %0.75 makro çelik lif ve %0.25 mikro çelik lif içeren karışıma PVA veya PP sentetik lif ilave edilerek elde edilen ikili ve üçlü lif kombinasyonundan oluşan karışımlara ait numunelerin yük-sehim eğrileri altında kalan alan incelendiğinde, PVA eklenmesinin numunelerin absorbe ettiği enerji bakımından daha olumlu etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bunun yanında, fazla miktarda makro çelik lif içeren tek lifli karışımlar ile PVA içeren ikili ve üçlü karışımlara ait numuneler çok daha düktil davrandılar.



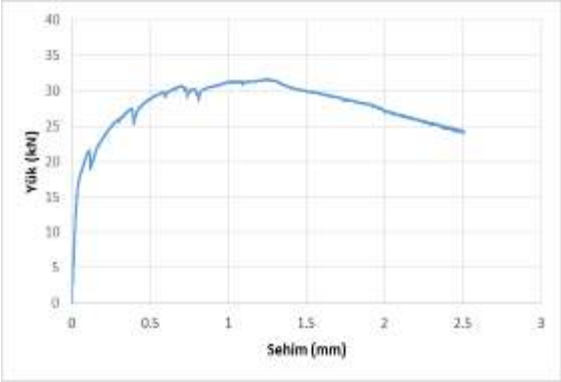

(a)



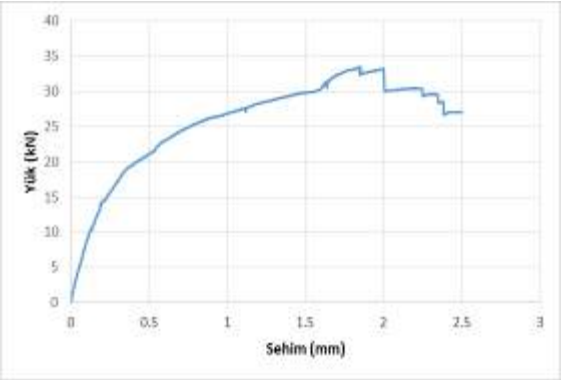

(b)



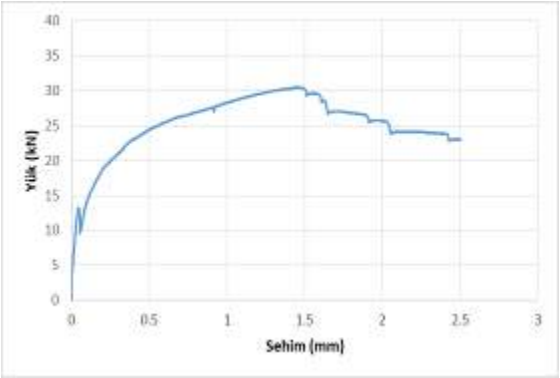

(c)




(d)




(e)




(f)

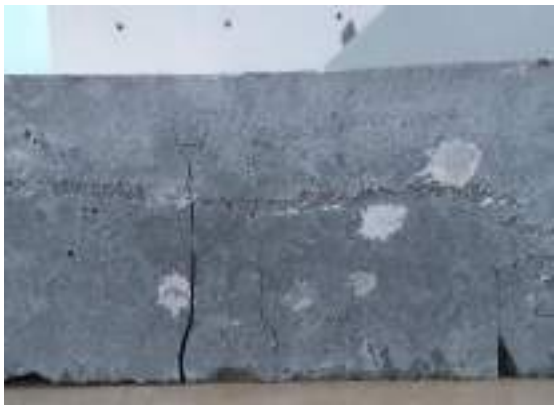
**Şekil 4. Yük-Sehim Grafikleri: a) TKLF, b) MAK1.00+PVA0.25, c) MAK1.00+PP0.25, d) MAK0.75+MİK0.25, e) MAK0.75+MİK0.25+PVA0.25, f) MAK0.75+MİK0.25+PP0.25**

Şekil 5'te görüldüğü gibi, fazla sayıda çatlak oluşumunun daha çok sentetik lif içeren KYB karışımlarına ait numunelerde olduğu görülürken, PVA lifi içeren ikili ve üçlü lif kombinasyonuna sahip karışımlardan (MAK1.00+PVA0.25 ve MAK0.75+MİK0.25+PVA0.25) elde edilen numunelerde tipik çoklu çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Bunun yanında, sadece makro ve mikro çelik lif içeren ikili KYB karışımları (MAK0.75+MİK0.25) ile PP içeren üçlü lif kombinasyonuna sahip karışımlardan (MAK0.75+MİK0.25+PP0.25) üretilen numunelerde daha az sayıda çatlak oluşmuştur.

(a)

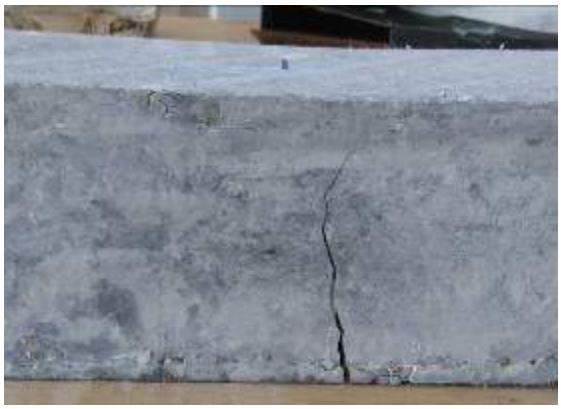
(b)

(c)



(d)

(e)



(f)

**Şekil 3.** Eğilme Testlerinden Sonraki Görüntüler: (a) TKLF, b) MAK1.00+PVA0.25, (c) MAK1.00+PP0.25, d) MAK0.75+MİK0.25, e) MAK0.75+MİK0.25+PVA0.25, f)MAK0.75+MİK0.25+PP0.25

## SONUÇ

Bu çalışmada yürütülen deneylerden elde edilen bulgular dikkate alındığında aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

1- Tek lifli KYB karışımına kıyasla, karışıma hem mikro çelik lifin hem de sentetik lifin katılmasının işlenebilirlik özelliklerini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Sentetik lifler kendi arasında karşılaştırıldığında ise, PVA lifinin PP lifine göre işlenebilirlik üzerinde daha olumsuz bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

2- Lif takviyeli KYB karışımlarına mikro çelik lifin eklenmesinin, basınç dayanımında azda olsa bir artışa neden olduğu gözlemlenirken, sentetik liflerin karışıma eklenmesinin basınç dayanımını düşürdüğü bulunmuştur. Bunun yanında, sentetik lifler kendi arasında kıyaslandığında ise, PP lifinin PVA lifine göre basınç dayanımı üzerinde daha fazla olumsuz bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

3- Lif takviyeli KYB karışımlarına mikro çelik lifin eklenmesinin, eğilme dayanımını düşürdüğü tespit edilmiştir. Ancak, sentetik liflerin karışımlara eklenmesinin hem ikili lif hem de üçlü lif içeren karışımlarda eğilme dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında, mikro çelik lif içeren ikili lif takviyeli KYB karışımlarına sentetik lif eklenmesinin eğilme dayanımı performansını iyileştirdiği görülürken, PVA lifinin PP lifine göre eğilme dayanımı performansını daha olumlu etkilediği bulunmuştur.

4- Tüm lif takviyeli KYB karışımlarına ait numunelerin sehim-sertleşmesi davranışı gösterdiği tespit edilmiştir. Tekli, ikili ve üçlü lif içeren KYB karışımlarının yük-sehim eğrileri altında kalan alan dikkate alındığında, mikro çelik lifin eklenmesiyle yük-sehim eğrisinin altında kalan alanın azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında, sadece makro çelik lif ile hem makro hem de mikro çelik lif içeren ikili lif takviyeli KYB karışımlarına sentetik lif eklenmesinin enerji yutma kapasitesini iyileştirdiği görülürken, PVA lifinin PP lifine göre karışımların enerji yutma kapasitesini daha olumlu etkilediği bulunmuştur.

**5-** Lif takviyeli KYB karışımlarından üretilen numunelerin dört noktalı eğilme deneyi sonrası oluşan çatlak durumu incelendiğinde, sentetik lif içeren KYB karışımlarında, mikro çelik lif içeren ikili lif kombinasyonuna sahip karışımlarına kıyasla daha fazla sayıda çatlak gözlemlenmiştir. Bunun yanında, sentetik lif içeren bu karışımlarda ise, PVA lifi içeren ikili ve üçlü lif takviyeli numunelerde tipik çoklu çatlak oluşumu tespit edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimine verdiği finansal destekten dolayı minnettarız. (Proje numarası: FYL-2017-844)

## REFERANSLAR

Okamura ve Quchi, 1999. Self Compacting Concrete. *Development Present Use and Future.Proceedings of the First International RILEM Symposium(pp 3-14).* Edited by A. Skarendahland 6. Peterson.

Özkul, M.,H., 2002. Beton teknolojisinde bir devrim: Kendiliğinden yerleşen-sıkışan beton, *52, 64-71*.

Sağlam, R.,A., Parlak, N., Doğan, A., Ü. ve Özkul, M.,H., 2005. Kendiliğinden yerleşen betonda çimento katkı uyumu, *6.Ulusan Beton Kongresi(s. 213-224)*. İTÜ, İstanbul, 1618 Kasım 2005.

EFNARC, 2005. European guidelines for self-compacting concrete, Specification and Production and Use, Association House, UK, (www.efnarc.org).

Hannant, D. J., 1987.Fiber cements and fiber concrete. *Chichester*, UK, Wiley.

Ding, Y.N., You, Z., Jalali, S., 2010. "Hybrid fiber influence on strength and toughness of RC beams". *Compos Struct, 92, 2083–9*.

Sukontasukkul, P., Jamsawang, P.,2012. Use of steel and polypropylene fibers to improve flexural performance of deep soil–cement column. *Constr Build Mater, 29, 201–5*.

Mobasher, B., Li Cheng, Y.,1996. Mechanical properties of hybrid cement based composites. *ACI Materials Journal, 93(3), 284–92.*

Akcay, B.,2012. Experimental investigation on uniaxial tensile strength of hybrid fibre concrete. *Compos: Part B, 43, 766–78.*

ARAL,M.,2006. Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı: Bir-optimum tasarım, İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ *Yüksek Lisans Tezi*.

Rodrigues, J. P. C., Laím, L., Correia, A. M.,2010. Behaviour of fiber reinforced concrete columns in fire. *Compos. Struct., 95, 1263–1268, 2010.*

Jin-Cheng Liu, Kang Hai Tan.,2017. Fire resistance of strain hardening cementitious composite with hybrid PVA and steel fibers. *Construction and Building Materials 135 (2017) 600-611*.

Haddadou,N., Chaid, R.,Ghernouti, Y., &Adjou, N. (2014). The effect of hybrid steel fiber on the properties of fresh and hardened self-compacting concrete. J *Build Mater Struct*, 1, 65-76

Naaman, A.E., & Reinhardt, H.W. (1995). Characterization of high performance fiber reinforced cement composites (HPFRCC2). *In: Second International Workshop*, Ann Arbor, USA.

# SOME PROPERTIES OF HYBRID FIBER REINFORCED SELF-COMPACTING CONCRETE CONTAINING BINARY AND TERNARY MINERAL ADMIXTURE

Kazim TURK, Inonu University,Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Malatya, Turkey, kazim.turk@inonu.edu.tr

İzzeddin DONMEZ, Inonu University,Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Malatya, Turkey, izzeddin.dnmz@gmail.com

**ABSTRACT**: It has been known that the addition of single or hybrid reinforced fibers to self-compacting concrete (SCC) improves the mechanical properties such as bending toughness, tensile strength, ductility. To able to exhibit the expected performance of SCC mixtures with fiber, filling ability into framework and the passing ability between obstacles with no segregation and no bleeding have a key role. In this study, the effect of mineral admixture type as well as the use of mineral admixture as binary and ternary blends of fly ash (FA) and blast furnace slag (BFS) on the fresh and hardened properties of SCC with/out hybrid fiber was investigated. The passing ability of SCC mixtures with binary and ternary blends of FA and BFS was measured by J-ring test while the filling ability and viscosity was obtained using by slump-flow and $T_{500}$ tests. According to the results of experiment, the use of mineral admixture by mass of 35% instead of cement provided the workability properties of all mixtures. Mixture with ternary blends of FA and BFS had the best passing ability in fiber reinforced mixtures while the mixtures with binary blend of FA or only cement had the highest slump-flow diameter. SCC mixtures with BFS had in general better mechanical properties whilst FA induced little decrease in the strength of mixtures. The compressive strength of the mixtures with hybrid reinforced fiber at 7 days was higher than that of the mixtures with no fiber while 28-day compressive strength for some mixtures exhibited decreasing in proportion of 2-4%. The properties such as bending toughness, flexural tensile strength, ductility improved when the fiber was added into mixtures.

**Key words:** hybrid fiber reinforced self-compacting concrete, mineral admixture, workability, compressive strength, four-point flexural test

## İKİLİ VE ÜÇLÜ MİNERAL KATKI İÇEREN KARMA LİF TAKVİYELİ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN BAZI ÖZELLİKLERİ

**ÖZET:** Kendiliğinden yerleşen betona (KYB) tekli veya karma olarak ilave edilen liflerin; eğilme tokluğu, çekme dayanımı, süneklilik gibi mekanik özellikleri geliştirdiği bilinmektedir. Lifli KYB karışımlarının, beklenen performansı gösterebilmesi için terleme ve segregasyon oluşmadan, kalıpları doldurma ve engeller

arasından geçiş gibi işlenebilirlik özellikleri kilit rol oynar. Bu çalışmada, tek tip lif kombinasyonuna sahip karma lifli ve lifsiz karışımlar üzerinde, mineral katkı türü ile uçucu kül (UK) ve yüksek fırın cürufunun ikili ve üçlü harmanlama olarak kullanımının taze ve sertleşmiş karma lif takviyeli KYB özellikleri üzerinde etkisi incelenmiştir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu (YFC) içeren ikili ve üçlü bağlayıcı sistemli karışımların doldurma kabiliyeti ve viskozitesi çökme-yayılma ve $T_{500}$ testleriyle belirlenirken, engeller arasından geçiş kabiliyeti ise J-halkası testiyle ölçülmüştür. Deney sonuçlarına göre, çimento yerine ağırlıkça %35 mineral katkı kullanımı, tüm karışımların işlenebilirlik özelliklerini geliştirmiştir. En yüksek yayılma çapına, UK ve portland çimentosu (PC) içeren karışımlar ulaşırken, lifli karışımlar arasında en iyi geçiş kabiliyetini üçlü bağlayıcı içeren karışım sergilemiştir. YFC içeren karışımlar genel olarak daha iyi mekanik özelliklere sahipken, UK ise karışımlrın dayanımlarında bir miktar azalmaya neden olmuştur. Karma lif kullanılan tüm karışımların 7 günlük basınç dayanımları lifsizlerden yüksek çıkarken, 28 günlük basınç dayanımı bazı karışımlarda %2-4 oranlarında düşüş göstermiştir. Lif varlığında, eğilme tokluğu, eğilmede çekme dayanımı, süneklik, düktilite gibi özellikler oldukça geliştirmiştir.

**Anahtar sözcükler:** karma lifli kendiliğinden yerleşen beton, mineral katkı, işlenebilirlik, basınç dayanımı, dört-noktalı eğilme testi

## GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen beton, kendi ağırlığı altında akabilen ve yerleşebilen, donatılar arasında geçerek kalıpları tamamen doldurabilen, tüm bunları stabil durumu bozulmadan yapan bir beton türüdür (Okamura, H., 1997). Kendiliğinden yerleşen yüksek performanslı beton ise yeterli derecede işlenebilirliğe, yüksek mukavemete ve iyi dayanıklılığa sahip beton olarak tanımlanmaktadır (Worrell vd., 2001). Bu gereklilikleri yerine getiren bir beton oluşturmak için, yüksek miktarda bağlayıcı dozajına, süper akışkanlaştırıcıya (SP), viskozite düzenleyici katkı (VDK) veya UK, YFC gibi amorf yapıya sahip mineral katkılara ihtiyaç vardır (Safiuddin, M., 2008). KYB'nin olumsuz özelliklerinde birisi yüksek hacimde portland çimentosuna (PC) ihtiyaç duymasıdır. Çimento sektörünün Dünya'da en yüksek üçüncü karbondioksit emisyonuna yol açan sektör olduğu düşünülürse, betona talebin her geçen gün artmasıyla bu olumsuzluk daha önemli bir hal alır (Initiative, C. S., 2009). KYB'de portland çimentosu kullanımını sınırlandırmanın bir yolu, uçucu kül, doğal puzolan, kireç taşı tozu gibi mineral katkıları(MK) çimentoyla yer değiştirerek ikame etmektir (Erdoğan, T. Y., 1997). Bu gibi MK'ların kullanımı, betonun işlenebilirlik ve mekanik özelliklerini geliştirdiği gibi endüstriyel atık kategorisindeki UK, YFC, silis dumanı gibi malzemeler değerlendirilerek çevresel ayak izini azaltır.

UK betonun işlenebilirliğini ve uzun dönem basınç dayanımını arttırmaktadır. UK küresel taneli şekillere sahip olduğu için ve çimentoya kıyasla su ihtiyacının daha az

olması sebebiyle, sadece çimento içeren bir karışımla aynı çökme-yayılma değerini elde etmek için daha az suya ve akışkanlaştırıcıya ihtiyaç duyar (Turk, K. 2012), (Bouzoubaa, N., & Lachemi, M. 2001). YFC, çimentoya yakın bir kimyasal bileşime sahiptir. Dünyada yılda yaklaşık 250 milyon ton cüruf üretilir ve beton üretiminde 90 milyon tonu kullanılır. Ayrıca YFC; düşük hidratasyon ısısı, yüksek sülfat ve asit direnci, daha iyi işlenebilirlik ve düşük geçirgenlik gibi avantajlara da sahiptir (Öner vd., 2003).

Günümüzde yapılan araştırmalar sonucunda, betona katılan liflerin betonda çatlak oluşumunu önemli ölçüde azalttığı, betonun şekil değiştirme kapasitesini, tokluğunu, çarpma ve çekme dayanımını arttırdığını ve sünekliği yüksek betonlar elde etmeyi mümkün kıldığı görülmüştür (Bunsell, A.R., 1988). Lif takviyeli betonlarda, tek çeşit ve karma lif olmak üzere iki tip uygulama vardır. Tek tip lif kullanımı betonun özelliklerini sınırlı bir düzeye getirebilir. Bununla birlikte, betona iki veya daha fazla sayıda farklı lif tipinin eklenmesiyle daha gelişmiş mühendislik özellikleri sunulabilir; çünkü bir lifin varlığı diğer lifin sağlayacağı özelliklerin daha verimli kullanılmasını sağlar (Rossi, P. 1997).

Bu çalışmada, mineral katkı türünün, ikili ve üçlü bağlayıcı sistemlerde lifli ve lifsiz karışımların işlenebilirlik ve mekanik özelliklerini nasıl etkilendiğinin araştırılması hedeflenmiştir.

## DENEYSEL ÇALIŞMA

### Malzemeler

#### *Çimento*

Tüm karışımlarda, Elazığ SEZA Çimento firmasına ait, TS-EN 197-1:2012 standartına uygun CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ait fiziksel özellikler ve kimyasal bileşim Tablo 1'de verilmektedir.

**Tablo 1. Bağlayıcı Malzemelere Ait Kimyasal Bileşenler**

| Kimyasal Kompozisyon (%) | PC | UK | YFC |
|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 19.41 | 63.04 | 32.37 |
| $Al_2O_3$ | 5.58 | 21.63 | 10.00 |
| $Fe_2O_3$ | 3.67 | 6.77 | 1.33 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| CaO | 58.85 | 1.07 | 32.94 |
| MgO | 2.12 | - | 9.77 |
| $SO_3$ | 3.16 | 0.10 | 0.7 |
| $Na_2O$ | 0.61 | 2.79 | 0.42 |
| $K_2O$ | 0.69 | - | 0.83 |
| Kızdırma kaybı | 6.07 | 2.68 | 0 |
| $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ | 28.66 | 91.44 | 43.7 |
| Özgül ağırlık (gr/cm$^3$) | 3.17 | 2.35 | 2.86 |
| Blaine (cm$^2$/gr) | - | 2900 | 4085 |
| 45 µm elek bakiyesi (%) | - | 19 | 0.8 |
| 28 günlük puzolanik aktivite (%) | - | 81 | 72.9 |

Çalışmada, 0-5 mm ve 5-10 mm olmak üzere iki tip, kalker esaslı kırma agrega kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri ve elek analizleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2. Agregalara Ait Özellikler**

| Agregа | Özgül ağırlık (gr/cm$^3$) | Su emme (%) | İncelik modülü | Elek boyutu, mm - % Geçen | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 0.125 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 |
| Kırma kum | 2.58 | 2.26 | 4.10 | 10 | 13 | 18.4 | 25.6 | 45.5 | 78.1 | 99.5 | 100 |
| Kırma taş | 2.63 | 0.3 | 4.09 | - | - | 1.7 | 1.9 | 2.4 | 5.3 | 78.5 | 100 |

***Mineral Katkılar***

İsken-Sugözü enerji santraline ait uçucu kül ve Karabük'te bulunan Karçimsa fabrikasına ait öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Malzemelere ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

***Akışkanlaştırıcı***

Beton karışımlarında TS EN 934-2 standardına uygun, modifiye polikarboksilat esaslı, yoğunluğu 1,06 gr/cm$^3$ olan hiper akışkanlaştırıcı Sika ViscoCrete Hi-Tech 51 modeli tercih edilmiştir.

***Lif***

Lifli beton karışımlarında çelik lif olarak, Dramix 3D 65/35 makro lif ve Dramix OL 6/.16 mikro lif kullanılmıştır. Sentetik lif olarak ise polipropilen kullanıldı. Liflere ait özellikler Tablo 3'de belirtilmiştir.

**Tablo 3. Çelik ve Sentetik Liflerin Özellikleri**

| Lif Adı | Lif türü | Uzunluk (mm) | Narinlik | Çekme dayanımı (MPa) | Elastisite modülü (GPa) | Yoğunluk (g/cm$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3D 65/35 | Çelik lif | 35 | 65 | 1345 | 200 | 7.8 |
| OL 6/16 | Çelik lif | 6 | 40 | 3000 | 200 | 7.2 |
| PP | Sentetik lif | 6 | - | 350 | - | 0.91 |

**Beton Karışımları**

Deneysel çalışmalar için, EFNARC'ın kendiliğinden yerleşen betonlar için hazırladığı kılavuzdaki öneriler dikkate alınarak ve İnönü Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda yapılan benzer çalışmaların deneysel verilerinden faydalanılarak karışım reçetesi oluşturulmuştur (). Tüm karışımlarda su/bağlayıcı oranı (0,22), agrega karışım oranları sabit ve toplam bağlayıcı miktarı (850 kg/m$^3$) sabit tutulmuştur. Kontrol karışımı hariç karışımlarda kimyasal katkı dozajı 6,5 kg/m$^3$'dür. Mineral katkı olarak kullanılan uçucu kül ve yüksek fırın cürufu, çimentoyla ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmıştır. Lifli karışımlarda ise 60 kg/m$^3$ makro lif, 20 kg/m$^3$ mikro lif ve 2,36 kg/m$^3$ sentetik lif içeren, tek tip lif kombinasyonlu karma lifli betonlar hazırlanmıştır. Bir adet kontrol karışımı, 3 adet; mineral katkı ikameli lifsiz karışım, 3 adet; mineral katkı ikameli lifli karışım olmak üzere toplam 7 adet karışım hazırlanmıştır. Karışım oranları Tablo 4'da verilmektedir.

**Tablo 4. Beton Karışım Oranları**

| | | | | | | | Agrega (kg/m$^3$) | Çelik lif (kg/m$^3$) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| Karışım Adı | PC (kg/m³) | UK (kg/m³) | YFC (kg/m³) | Su (kg/m³) | S/B | SA (%) | Kırmakum 0-5 mm | Kırmataş 5-10 mm | 3D 65/35 | OL 6/.16 | PP lif (kg/m³) | SA (kg/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C850 | 850 | - | - | 190 | 0,22 | 0,9 | 926 | 397 | - | - | - | 7,75 |
| U300 | 550 | 300 | - | 190 | 0,22 | 1,18 | 876 | 375 | - | - | - | 6,5 |
| Y300 | 550 | - | 300 | 190 | 0,22 | 1,18 | 910 | 390 | - | - | - | 6,5 |
| U150Y150 | 550 | 150 | 150 | 190 | 0,22 | 1,18 | 893 | 382 | - | - | - | 6,5 |
| U300-KL | 550 | 300 | - | 190 | 0,22 | 1,18 | 853 | 365 | 60 | 20 | 2,36 | 6,5 |
| Y300-KL | 550 | - | 300 | 190 | 0,22 | 1,18 | 886 | 380 | 60 | 20 | 2,36 | 6,5 |
| U150Y150-KL | 550 | 150 | 150 | 190 | 0,22 | 1,18 | 870 | 372 | 60 | 20 | 2,36 | 6,5 |

**Deneysel Yöntem**

Deneysel çalışmalarda toplam bağlayıcı miktarı 850 kg/m³ seçilmiştir. İnce agrega/toplam agrega oranı 0,30'dur. Kontrol karışımı dışındaki karışımlarda toplam mineral katkı dozajı 300 kg/m³'dür ve akışkanlaştırıcı oranı sabittir. Mineral katkı türünün ikili ve üçlü sistemlerde, karışımların işlenebilirlik ve mekanik özelliklerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Testler sırasıyla, işlenebilirlik ve sertleşmiş beton testleri olarak iki bölümde gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik testleri olarak; çökme-yayılma çapı, $T_{500}$ süresi, J-halkası yayılma çapı ($SF_J$), $T_{500j}$ süresi ve J-halkası geçiş yeterliliği (PJ) değerleri ölçülmüştür. Sertleşmiş beton testlerinde ise 7 ve 28 günlük 100x100x100 mm'lik küp numunelere basınç dayanımı testi ve 100x75x400 mm prizmatik numunelere dört noktalı eğilme testleri gerçekleştirilmiştir.

Beton karışımları hazırlanırken, 100 lt hazneye sahip pan tipi mikser kullanıldı. Karıştırma metodu olarak sırasıyla şu işlemler uygulanmıştır:

- Agrega ile varsa lifler kuru olarak 15 sn. karıştırıldı.

• Karışım suyunun 2/3'si eklenerek karıştırmaya 3 dk. daha devam edildi.

• Çimento ve mineral katkılar eklenerek 2 dk. karıştırıldı.

• Kalan karışım suyu, akışkanlaştırıcıyla birlikte karışıma eklendi ve 8,5 dakika karıştırma işlemine devam edildi.

***Taze Beton Deneyleri***

İşlenebilirlik deneyleri EFNARC Komitesi'nin önerilerine göre yapılmıştır (EFNARC, 2002),(EFNARC, 2005). Betonda oluşan tiksotropik davranış, kıvam kaybı vb. gibi değişkenliklerin en aza indirilebilmesi için her bir karışımın çökme-yayılma ve J-halkası deneylerine ayrı numuneler üretildi ve karıştırma işlemi bitince, mümkün olduğunca zaman kaybetmeden işlenebilirlik testleri gerçekleştirildi.

Betonun doldurma kabiliyetinin ve stabilitesinin incelendiği Çökme-yayılma testinde, deney aletleri hafif nemli biz bezle silindikten sonra, karışımı temsil edecek numune çökme konisine dolduruldu. Koni dolduruldukten sonra, 30 sn. içerisinde dikey olarak kaldırıldı ve en büyük yayılma çapı ve ona dik doğrultudaki çap ölçülüp aritmetik ortalaması alındı. Çökme konisinin kaldırıldığı an ile betonun 500 mm yayılma çapına ulaştığı an arasında geçen $T_{500}$ süresi kaydedildi. Betonun donatılar arasından geçiş kabiliyetini belirlemek için yapılan J-halkası deneyinde, en büyük yayılma çapı ve ona dik çapın aritmetik ortalaması alınarak J-halkası yayılma çapı belirlenmiştir. Halkanın merkezindeki ile halkanın hemen dışındaki 4 nokta arasındaki yükseklik farklarının ortalaması alınarak J-halkası geçiş yeterliliği ölçülmüştür (Tablo 7).

(a)

(b)

**Şekil 1 İşlenebilirlik Testlerine Ait Çökme-Yayılma ve J-Halkası Deneyi Fotoğrafları (a) Mineral Katkı ve Lif İçermeyen Kontrol Karışımı (C850) (b) Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cüruflu Karma Lifli Karışım (U150Y150-KL)**

*Sertleşmiş Beton Deneyleri*

Bu bölümde, karışımların 7 ve 28 günlük basınç ve 4 noktalı eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir.

Basınç dayanımı testleri, her dayanım sınıfı için 3 adet 100x100x100 mm küp numuneler kullanılarak, TS EN 12390 – 3 standardına uygun olarak 0,6 MPa/sn yükleme hızında yapıldı.

4 noktalı eğilme deneyi, her sınıfta 2 adet 100x75x400 mm numuneler üzerinde, ASTM C1609 stardartına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Açıklık ortasındaki net deplasmanlar ölçülmüştür.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

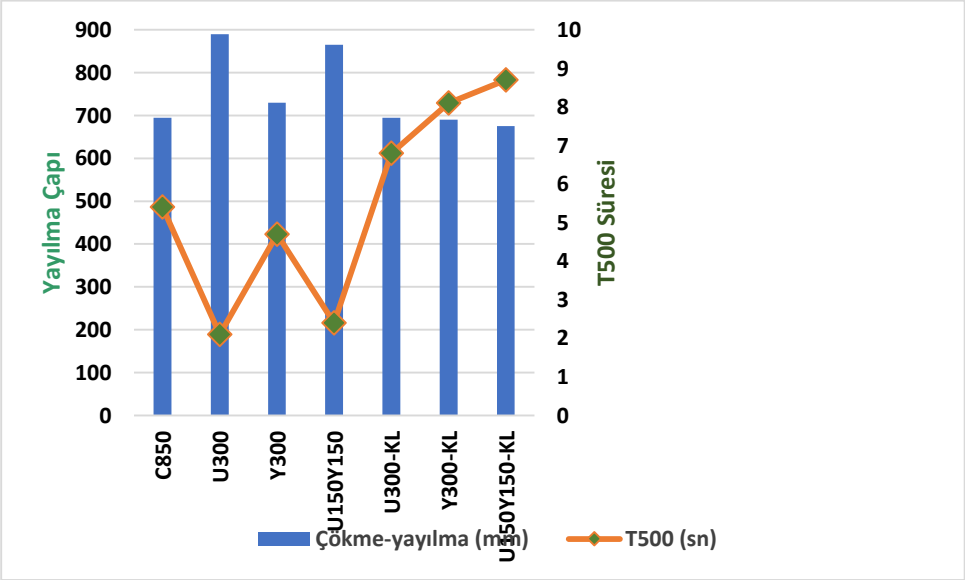
### Taze Beton Özellikleri

Tüm karışımlara ait Çökme-yayılma ve J-halkası deney sonuçları Tablo 5, Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun tekli ve ikili kullanımda, işlenebilirlik üzerine etkilerinin daha net gözlemlenebilmesi için karışımların S/B, toplam bağlayıcı miktarı, agrega karışım oranları, akışkanlaştırıcı katkı dozajı gibi parametreleri sabittir ancak Kontrol karışımının kendiliğinden yerleşen beton özelliği gösterebilmesi için akışkanlaştırıcı dozajı bir miktar fazla tutulmuştur. Lifsiz karışımlarda, uçucu külün, PC ile ağırlıkça %35 yer değiştirilmesiyle oluşturulan U300 karışımı incelendiğinde, en yüksek yayılma çapı ve en düşük $T_{500}$ süresi değerlerine sahip olduğu görülür. Bunun sebebi uçucu külün Blaine özgül yüzey alanının PC ve YFC'den daha düşük olmasına ve UK partiküllerinin küresel şekillerinin sürtünmeyi azaltarak hareket kabiliyetini arttırmasına bağlanabilinir (Ramachandran, V. S., 1996). U300 karışımının J-halkası sonuçlarına bakılırsa, yine en iyi geçiş kabiliyeti özelliğine sahip olduğu görülür çünkü UK düşük özgül ağırlığından dolayı, belirli bir ağırlıkta daha yüksek hamur hacmine sahiptir. Böylelikle daha kohezif ve plastisitesi yüksek

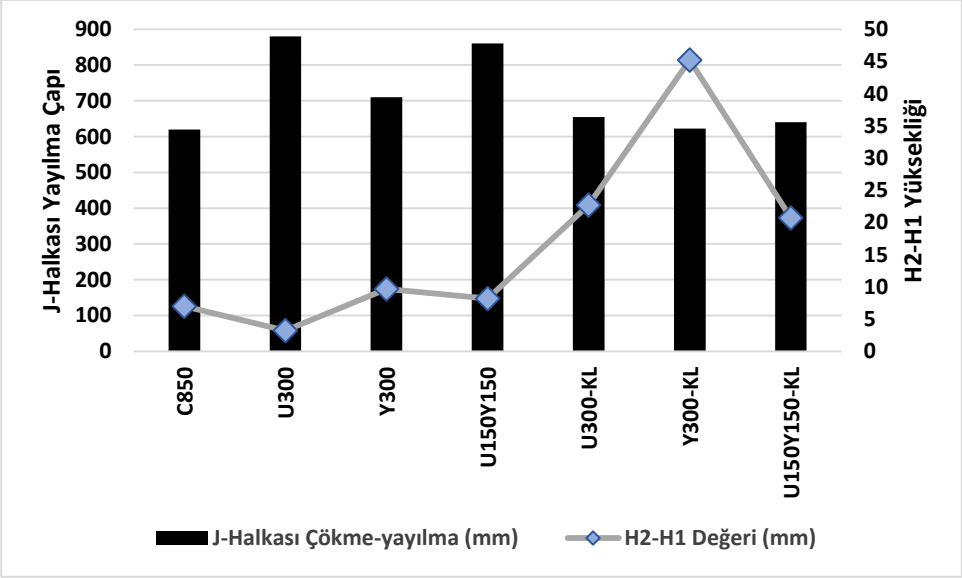
bir beton oluşumuna imkan sağlayarak kaba parçacıklarla tutunma kuvvetini arttırır (Yahia vd., 2005). Karma lifli karışımların sonuçları değerlendirilirse, yayılma çapı ölçülerinin büyükten küçüğe sıralaması yapılırsa, U300-KL(UK-PC) > Y300-KL(YFC-PC) > U150Y150-KL(UK-YFC-PC) olduğu görülmektedir. UK ve YFC içeren ikili harmanlamaya sahip karma lifli karışım, liflerin en homojen yayıldığı karışımdır (Şekil 1 (b)). Bu karışımın en düşük J-halkası yükseklik farkına sahip olması ile homojenliği arasında ters orantılı bir ilişki kurabiliriz. Bu karışımın, en stabil lifli karışım olması ve engeller arasından geçiş yeteneğinin daha üstün olmasının sebebi, farklı tane boyutu dağılımlarına sahip UK ve YFC'nin birlikte kullanılmasının daha kararlı bir tanecik iskeleti oluşturmasına ve bu sayede viskozitenin artışına yol açmasıyla ve de UK ile YFC'nin fiziko-kimyasal özelliklerinin uyumlu etkileşimiyle açıklayabiliriz (Yahia vd., 2005).

**Tablo 5. Karışımlara Ait İşlenebilirlik Deneyleri Sonuçları**

| Karışım Adı | Çökme-Yayılma | | J-halkası | |
|---|---|---|---|---|
| | Çap (mm) | $T_{500}$ (sn) | Çap (mm) | $h_2$-$h_1$ (mm) |
| C850 | 695 | 5,4 | 620 | 7 |
| U300 | 890 | 2,1 | 880 | 3,2 |
| Y300 | 730 | 4,7 | 710 | 9,7 |
| U150Y150 | 865 | 2,4 | 860 | 8,2 |
| U300-KL | 695 | 6,8 | 655 | 22,7 |
| Y300-KL | 690 | 8,1 | 622 | 45,2 |
| U150Y150-KL | 675 | 8,7 | 640 | 20,7 |




**Şekil 2 Karışımların Çökme-Yayılma ve $T_{500}$ Değerleri**




**Şekil 3 Karışımların J-Halkası Yayılma ve Yükseklik Farkı Değerleri**

## Sertleşmiş Beton Özellikleri

### *Basınç Dayanımı*

Karışımlara ait 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Tablo 6.'da gösterilmiştir. Basınç dayanımı sonuçları incelenirse, 7 ve 28 günlük dayanımda en yüksek değer, kontrol karışımına aittir. Aynı mineral katkı içeriğine sahip, lifli ve lifsiz karışımların basınç

dayanımları kıyaslandığında, 7 günlük dayanımlarda, lifli karışımların mukavemeti daha yüksek iken, 28 günlük dayanımlarda, U300-KL hariç diğer lifli karışımların basınç dayanımları lifsizlere göre %2-5 mertebelerinde daha düşük çıkmıştır. Basınç dayanımları, mineral katkı etkisinde incelenecek olursa, lifli ve lifsiz karışımlarda en yüksek dayanım, PC ve YFC içeren ikili sistem karışımlardan elde edilmiştir. Çimentoya mineral katkı olarak yalnız uçucu külün ikame edildiği karışımların dayanım değerleri en düşük çıkmıştır.

**Tablo 6. Karışımlara Ait Basınç Dayanımı Değerleri**

| Karışım Adı | Basınç Dayanımı (MPa) | |
|---|---|---|
| | 7 gün | 28 gün |
| C850 | 86,7 | 108,7 |
| U300 | 64,4 | 86,7 |
| Y300 | 81,3 | 100 |
| U150Y150 | 78,2 | 98 |
| U300-KL | 69,4 | 93,3 |
| Y300-KL | 83,8 | 98,5 |
| U150Y150-KL | 82,07 | 94 |

***Dört Noktalı Eğilme Deneyi***

Dört noktalı eğilme deneyi sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre tüm lifli karışımların eğilmede çekme dayanımları lifsizlere oranla oldukça yüksektir. Lif kullanımı, çatlama sonrası eğilme tokluğunu ve düktiliteyi arttırmıştır. YFC kullanılan karışımların eğilme dayanımları daha yüksek çıkmıştır. Lifli karışımlarda oluşan çoklu çatlakların daha net gözlemlenebilmesi için fotoğraf düzenleyici bir program kullanılarak çatlaklar belirginleştirilmiştir (Şekil 3).

**Tablo 7. Dört Noktalı Eğilme Deney Sonuçları**

| P | $f$ | δ |
|---|---|---|

| Karışım Adı | (KN) | | (MPa) | | (mm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 7 gün | 28 gün | 7 gün | 28 gün | 7 gün | 28 gün |
| C850 | 17,66 | 19,85 | 9,42 | 10,59 | - | - |
| U300 | 15,55 | 15,74 | 8,28 | 8,39 | - | - |
| Y300 | 21,8 | 23,77 | 11,62 | 12,67 | - | - |
| U150Y150 | 15,9 | 17,88 | 8,48 | 9,54 | - | - |
| U300-KL | 35,3 | 40,2 | 18,71 | 21,4 | 2 | 0,71 |
| Y300-KL | 36,07 | 48,76 | 19,24 | 26 | 1,02 | 0,38 |
| U150Y150-KL | 32,7 | 40,67 | 17,4 | 21,7 | 1,37 | 0,96 |

(a)

(b)

(c)

**Şekil 3 Karma Lifli Numunelerin 28 Günlük Eğilme Testi Sonrası Çatlak Oluşumları (a) U150Y150-KL (b) Y300-KL (c) U300-KL**

## SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, endüstriyel atık olan uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren ikili ve üçlü bağlayıcı sistemlerde, 60 kg/m$^3$ makro, 20 kg/m$^3$ mikro, 2,36 kg/m$^3$ polipropilen lif içeren karma lifli ve lifsiz karışımların işlenebilirlik ve mekanik özellikleri test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Karışıma mineral katkı ilavesi kontrol karışımına kıyasla akışkanlaştırıcı ve su ihtiyacını azaltmıştır.
2. UK ve PC'li karma lif içeren karışımın Çökme-yayılma değeri aynı karışımın lifsiz haline göre %22 azalırken, YFC ve PC'li karışım %6, YFC UK PC'li karışım %22 azalmıştır.
3. Bazı karışımlar EFNARC'ın belirlediği 550 – 850 mm yayılma çapı aralığını aşmıştır ancak herhangi ayrışma ya da segregasyon problemiyle karşılaşılmadı.
4. Deney sonuçlarına göre ağırlıkça %35 mineral katkı ikamesi betonun işlenebilirlik ve mekanik özelliklerini olumlu etkilemiştir. 7 ve 28 günlük basınç dayanımında kontrol numunesine en yüksek değere sahiptir.
5. Mineral katkılı karışımlar arasında YFC PC karışımı en iyi mekanik özellikleri göstermiştir. UK ise dayanımları bir miktar düşürmüştür.
6. Hacimce %1 çelik lif ve %0.25 sentetik lif kullanımı, lifsiz karışımlara kıyasla, eğilme dayanımlarını ve 7 günlük basınç dayanımlarını arttırmıştır.
7. Lifsiz karışımlarda en üstün doldurma ve geçiş kabiliyeti UK PC karışımıdır. Lifli karışımlarda ise UK PC en iyi doldurma özelliğine sahipken UK YFC PC en başarılı geçiş yeteneğine sahiptir. Bunun sebebi YFC ve UK'nın tane dağılımı açısından daha başarılı bir iskelet oluşturarak sinerjik etki göstermesine dayandırılabilinir.
8. Lifli karışımların Yük – Sehim grafikleri incelenirse tüm karışımlar ilk çatlaktan sonra pekleşme (Strain-Hardening) sergilemiştir. Karma lifli karışımların eğilme tokluklarının yüksek olduğu grafik altında kalan alandan anlaşılabilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimine verdiği finansal destekten dolayı minnettarız. (Proje numarası: FYL-2017-889)

## KAYNAKLAR

Okamura, H. (1997). Self-compacting high-performance concrete. *Concrete international*, *19*(7), 50-54.

Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., & Meida, L. O. (2001).

Safiuddin, M. (2008). Development of self-consolidating high performance concrete incorporating rice husk ash.

Initiative, C. S. (2009). Cement industry energy and CO2 performance: getting the numbers right. *World Business Council for Sustainable Development*.

Erdoğan, T. Y. (1997). *Admixtures for concrete*. Middle East Technical University Press.

Bouzoubaa, N., & Lachemi, M. (2001). Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash: Preliminary results. *Cement and concrete research*, *31*(3), 413-420.

Turk, K. (2012). Viscosity and hardened properties of self-compacting mortars with binary and ternary cementitious blends of fly ash and silica fume. *Construction and Building Materials*, *37*, 326-334.

Öner, M., Erdoğdu, K., & Günlü, A. (2003). Effect of components fineness on strength of blast furnace slag cement. *Cement and Concrete Research*, *33*(4), 463-469.

Bunsell, A.R., (1988). Fiber Reinforcement for Composite Materials, Vol:2 Composite Materials Series, Elseiver Science, The Netherlands

Rossi, P. (1997). High performance multimodal fiber reinforced cement composites (HPMFRCC): the LCPC experience. *Materials Journal*, *94*(6), 478-783.

Ramachandran, V. S. (1996). *Concrete admixtures handbook: properties, science and technology*. William Andrew.

Yahia, A., Tanimura, M., & Shimoyama, Y. (2005). Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio. *Cement and concrete Research*, *35*(3), 532-539.

EFNARC, S. (2002). Guidelines for self-compacting concrete. *London, UK: Association House*, *32*, 34.

Bibm, C., & Ermco, E. (2005). EFNARC. *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use*.

# PERFORMANCE ANALYSIS OF DIFFERENT MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR THE DETECTION OF SCHIZOPHRENIA WITH EEG SIGNALS

Zülfikar ASLAN*

Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye

zulfikaraslan27@gmail.com

Mehmet AKIN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır

makin@dicle.edu.tr

**ABSTRACT**: In this study, performance of different machine learning algorithms in automatic detection of Schizophrenia disease is analyzed by using EEG signals of 84 individuals from 39 healthy and 45 diseased patients. The raw data utilized in the study is composed of single dimension arrays of size 122280 extracted from each channel of the EEG signal. Primarily, feature extraction from raw EEG signal is performed by using standard statistical methods and Relative Wavelet Energy (RWT) method. Obtained data is classified by using Naive Bayes, SVM (Support Vector Machine), MLP (Multi-Layer Perceptron), KNN (K Nearest Neighbors) and Random Forest machine learning algorithms and their classification performances are analyzed. Afterwards, because of the low number of samples in the dataset, a resampling is performed over the final version of the data. With these settings, classification performance is observed to rise to %95.

**Key words:** Relative Wavelet Energy, EEG, Schizophrenia, Machine Learning

# EEG SİNYALLERİNDE ŞİZOFRENİ TESPİTİNDE FARKLI MAKİNA ÖĞRENME ALGORİTMALARININ PERFORMANS ANALİZİ

**ÖZET:** Bu çalışmada 39 sağlıklı ve 45 şizofreni hastasına ait toplam 84 bireyin EEG sinyalleri kullanılarak, şizofreni hastalığının otomatik olarak tespitinde farklı makine öğrenme algoritmalarının başarımları analiz edilmiştir. Çalışmamızda kullanılan ham veri EEG kanallarından alınan sinyali temsil eden 122280 uzunluğunda tek boyutlu dizilerden oluşmaktadır. Öncelikle ham EEG sinyalinden standart istatistiksel yöntemler kullanılarak ve Göreceli Dalgacık Dönüşümü Enerjisi (RWT) metoduyla

özellik çıkarımı yapılmıştır. Elde edilen yeni veri Naive Bayes, Destek Vektör Makinaları (SVM), Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), k En Yakın Komşu (KNN) ve Random Forest makine öğrenme algoritmalarıyla ile sınıflandırılmış ve metotların başarımları analiz edilmiştir. Random Forest algoritmasıyla 90% civarında bir sınıflandırma başarımı elde edilmiştir. Sonrasında veri sayısının az olmasından dolayı, verinin son haline Resampling işlemi uygulanmıştır. Bu şartlar altında başarım oranının 95% 'e kadar yükseldiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Göreceli Dalgacık Dönüşümü Enerjisi, EEG, Şizofreni, Makine Öğrenme

## GİRİŞ

İnsan kafa derisi üzerinde kaydedilen elektroensefalogram (EEG) sinyalleri, çok yönlü elektriksel aktivitenin senkron bileşenlerinin bir göstergesidir. Artan klinik uygulama ve EEG çalışması, EEG'nin çeşitli davranışsal, patolojik ve ilaç modellerini ortaya koyabildiğini göstermektedir. Günümüzde, EEG beyin fonksiyonlarının çalışılmasında, beyin hastalığında tedavinin ve teşhiste çok faydalı ve önemli bir bölüm olmuştur. Bu nedenle, beyin hastalığında beyin dalgasının özelliklerini araştırmak ve sonuçları erken tanı, tedavi, rehabilitasyon ve öngörme dahil klinik uygulamalarda kullanmak önemlidir. Klinik uygulama şizofreni, depresyon ve normal sağlıklı kişiler arasında (Chen et al. 2000) olduğu EEG ritimlerine dayanarak farklılaşmanın mümkün olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, bu ritimler, bilgisayarın farklı hastalıkları otomatik olarak tanıması için özellikler olabilir (Li and Fan 2005).

Şizofreni, dünya nüfusunun yaklaşık % 0,4-0,6'sını etkileyen şiddetli ve kalıcı bir psikiyatrik hastalıktır. Etkilenen bireyler sıklıkla geç ergenlik veya erken yetişkinlik döneminde klinik olarak dikkat çekmektedir. Amerikan Psikiyatri Birliği (DSMIV) ' nin tanı kriterlerine göre (American Psychiatric Association 2000), hastalar sağlıklı bireylere göre düşüncelerde, etkilerde, ilişkilerde algı ve zorluklarda rahatsızlıklar göstermektedir. Şizofreni sıklıkla olumlu ve olumsuz belirtilerle tanımlanmaktadır. Olumlu belirtiler arasında sanrılar, işitsel halüsinasyonlar ve düşünce bozukluğu vardır ve genellikle psikozun belirtileri olarak kabul edilir. Olumsuz belirtiler, normal özelliklerin veya yeteneklerin kaybı veya yokluğu, konuşma yoksulluk ve motivasyon eksikliğidir. Şizofreni hastaları diğer insanlardan daha düşük iş, evlilik ve bağımsız yaşam oranlarına sahiptir (Sabeti et al. 2011).

Şizofreni, bazılarında, ancak hepsinde değil, beyin fonksiyonlarında bir rahatsızlığı temsil ettiğinden, belirli beyin bölgelerinin veya sinir devrelerinin yer aldığını varsaymak mantıklıdır. Nöropsikolojik çalışmalar, şizofreni hastalarında prefrontal ve temporal kortekste kortikal gri maddenin azaldığına dair kanıtlar bulmuştur. Örneğin; serebral beyaz cevher elyaf yolu değişimleri, amigdale, hipokampus ve entorinal

korteks ve talamus gibi limbik sistem yapılarının hacminin azalması ve bazal ganglion çekirdeklerinin hacminin artması gibi kanıtlar bulmuşlardır. Ayrıca, nöroanatomik çalışmalar, prefrontal ve limbik sistem fonksiyonlarının bozulmasının şizofreni hastalarında gözlenen pozitif ve negatif semptomlara ve bilişsel bozulmalara yol açtığını öne sürmektedir. Klinik, nöroanatomik, nöropsikolojik ve nörogörüntüleme yaklaşımları hastalığın daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmuş olsa da, altta yatan mekanizmalar hakkında daha kesin bir bilgi hala gereklidir (Sadock and Sadock 200AD).

Son zamanlarda, şizofrenik hastaların EEG sinyallerinin analizine çok önem verilmiştir. Bazı araştırmalarda, şizofrenik hastaların ve kontrol katılımcılarının EEG sinyallerine doğrusal olmayan yöntemler uygulanmıştır (Jeong et al. 1998; Koukkou et al. 1993; Röschke, Fell, and Beckmann 1995). Sonuçlar, iki grup arasındaki dinamik süreçte farklılıklar göstermiştir. Hornero ve arkadaşları (Hornero et al. 2006) katılımcılardan zaman serileri oluşturmak için rastgele boşluk tuşuna basmalarını istedi. Sonuçlar şizofreni hastaları tarafından oluşturulan zaman serilerinin kontrol grubundan daha düşük bir karmaşıklığa sahip olduğunu göstermiştir. Başka bir testte ise, rastgele sayı üretimi için (Rosenberg et al. 1990) katılımcılardan bir ila on kez bir sayı seçmeleri istenmiştir. Sayıların üretici bir kuraldan yoksun olması, yani mümkün olduğunca rastgele olması gerekiyordu. Şizofreni hastalarının daha fazla tekrarlanma eğiliminde olduğunu buldular. (Pressman, Peledu, and Geva 2000) şizofreni hastalarında çalışma hafızası görevi sırasında senkronizasyon değişim yeteneğinin olmadığını göstermişlerdir. Beyin aktivitesinde, özellikle önden ve geçici kanallar (Cherif et al. 2004), şizofreni hastalarının sağlıklı katılımcılarla karşılaştırıldığında, göz fiksasyon işlerinde anormallik gösterdiğini belirtmiştir. (Gaser et al. 1999) şizofreni hastalarında yapısal beyin değişikliklerini betimlemiştir. Ayrıca, (Keil et al. 1998) şizofrenik hastalarda ritmik parmak salınımları göstermiştir. (Paulus, Geyer, and Braff 1999), şizofreni ve kontrol grubu olan hastalarda ikili yanıt almak için bir uyarıcının 500 rastgele sağ veya sol görüntüsünü öngörmekten oluşan basit bir seçim görevi gerçekleştirmiştir. Karşılıklı ve çapraz karşılıklı bilgi uyguladıktan sonra, hastalar tarafından oluşturulan yanıt dizilerinin kontrol grubundakilerden daha yüksek derecede bir bağımlılık gösterdiğini göstermişlerdir.

Bu çalışmada 39 sağlıklı ve 45 şizofreni hastaya ait toplam 84 bireyden elde edilen 16 kanallı EEG sinyali kullanılmıştır. EEG sinyalinden şizofreni hastalığının tespiti için üç farklı özellik çıkarım yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle ham EEG sinyalinden standart istatistiksel metotlar ve Göreceli Dalgacık Enerjisi metodu kullanılarak bir özellik seti çıkarılmıştır. Elde edilen bu sette özellik değerlerinin sayısı çok fazla olduğundan sonraki aşamada "Best First Search" algoritması kullanılarak bu özellikler arasında en uygun olan özellikler seçilmiş ve özellik sayısı daha makul değerlere getirilmiştir. Elde edilen özellikler bu haliyle Naive Bayes, SVM, MLP, KNN ve Random Forest makine öğrenme algoritmaları kullanılarak sınıflandırma başarımları performansları analiz edilmiştir. Veri setindeki birey sayısının az olmasından dolayı makine öğrenme algoritması sonuçlarını iyileştirmek adına "Resampling" metodu uygulanmış ve sınıflandırma başarımını olumlu olarak etkilediği gözlemlenmiştir. Veri setindeki örnek (sample) sayısı, dengeli bir şekilde dağılmadığı ve bu durum makine öğrenmesi metotlarının eğitimini zorlaştırdığı için, veri setini daha dengeli

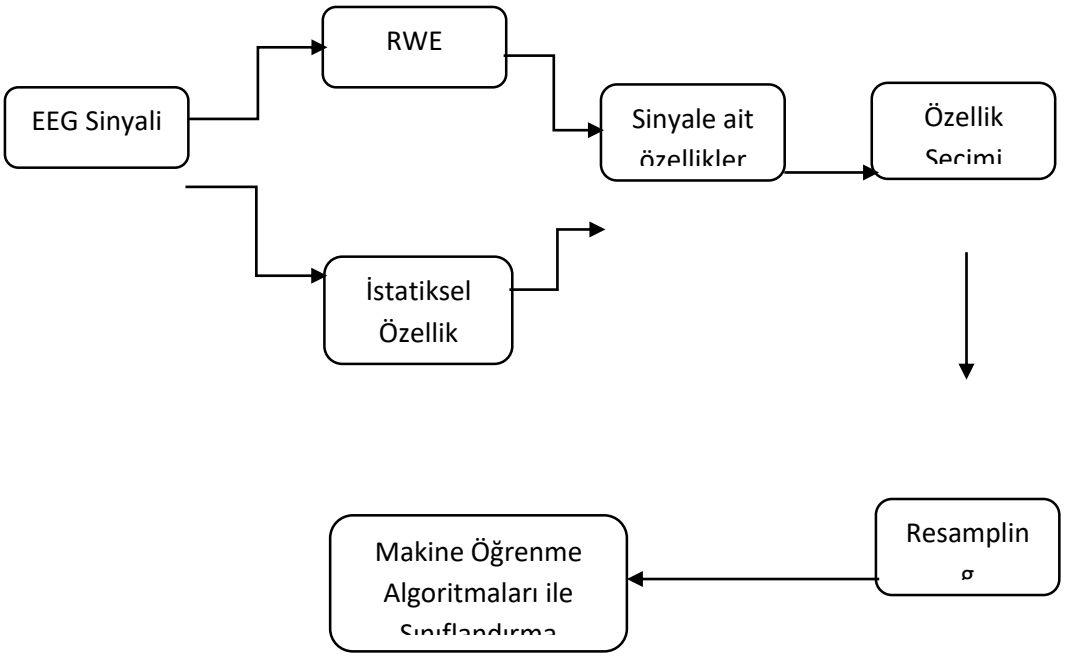
yapma amaçlı çoğaltma (oversampling) ve azaltma (undersampling) işlemleri yapılarak, veri seti normal ve hastalıklı bireylerin dağılımını dengeleyecek şekilde resampling işlemine tabi tutulmuştur.

**Veri Seti**

Bu çalışmada kullanılan EEG kayıtları, benzer şizofrenik bozukluğa sahip 45 çocuğa ait şizofreni hastalığını içermektedir. Ruh Sağlığı Araştırma Merkezi (MHRC) uzmanları tarafından tüm hastaların tanıları doğrulanmıştır. MHRC muayenesi yapılan hastaların hiçbirisi kemoterapi görmemiştir. Hastaların en büyüğü de 14 yaşında ve en küçüğü 10 yıl 8 aylıktır. Kontrol grubu (sağlıklı örnekler) ise en büyüğü 13 yaş 9 aylık ve en küçüğü 11 yaş olan 39 sağlıklı öğrenciden oluşmaktadır. Her iki gruptaki çocukların ortalama yaşı 12 yıl 3 aydır (Borisov et al. 2005). Bireyler rahat, gözleri kapalı ve uyanık iken kafalarına bağlı 16 elektrot ile EEG kayıtları alınmıştır. Her kanaldan alınan veri 7680 uzunluğunda tek boyutlu bir dizi yapısındadır. Bir bireye ait tüm kanallardan alınan EEG kaydı 122280 uzunluğunda tek boyutlu bir dizi yapısındadır.

**YÖNTEM**

45 şizofreni hastası ve 39 sağlıklı bireylerden alınan EEG verisi 16 kanallıdır. Ham EEG verisi üzerinden öncellikle standart istatistiksel özellik çıkarımları (entropi, ortalama, maksimum, standart sapma, güç yoğunluğu gibi) yapılmıştır. Sonrasında göreceli dalgacık enerji yöntemi ile elde edilen özellik veri seti, eldeki özellik veri seti ile birleştirilmiştir. Özellik sayısının oldukça fazla olmasından dolayı özellik seçimi için "Best First Search" algoritması kullanılmıştır. Elde edilen özellik değerleri Naive Bayes, SVM, MLP, KNN ve Random Forest makine öğrenme algoritmalarıyla başarımları hesaplanmış ve analiz edilmiştir. Şekil 1'de bu çalışmada yapılan işlem süreçleri gösterilmektedir.



**Şekil 1.** Bu çalışmada uygulanan metot ve yöntemlere ait süreçler.

**Göreceli Dalgacık Dönüşümü Enerjisi (Relative Wavelet Energy)**

Dalgacık katsayılarının farklı ölçeklerdeki entropileri, katsayıların taşıdığı bilgi içeriğini ortaya çıkarmak için ölçülür. Dalgacık entropisi, sinyalin düzen / düzensizlik derecesinin bir ölçüsüdür ve doğrusal olmayan sinyallerin gizli dinamik özelliklerini gösterir(Rosso et al. 2006; Rosso, Martin, and Plastino 2002). Verilen ayrık sinyal x (n) anında k ve j ölçeğinde dönüştürülür. Yüksek frekans bileşenli dalgacık katsayısı Dj (k) 'ye ve düşük frekanslı bir bileşen dalgacık katsayısı Aj (k) sahiptir. Dj (k) ve Aj (k) sinyal bileşeninde bulunan bilgilerin frekans bantları aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\left.\begin{array}{l} D_j(k): [2^{-(j+1)}f_s\,,\,2^{-j}f_s] \\ \\ A_j(k): [0,2^{-(j+1)}\,f_s] \end{array}\right\}$$

Where j=1,2,3,……,J (1)

fs örnekleme frekansıdır. (1,…, N) 'den farklı ayrışma seviyesindeki enerji, dalgacık ayrıntı katsayıları Dj (k) ve dalgacık yaklaşık katsayısı Aj (k)' nin enerjisidir.

Her ayrışma seviyesindeki enerji,

$$E_j = \sum_k |D_j(k)|^2 \quad (2)$$

$$E_{N+1} = \sum_k |A_j(k)|^2 \quad (3)$$

Ortalama dalgacık Enerjisi detay katsayıları

$$\bar{E}_j = \frac{1}{N_j}\sum_j |D_j(k)|^2 \quad (4)$$

Nj, j seviyesindeki dalgacık ayrıntı katsayılarının sayısıdır.

$$\bar{E}_{N+1} = \frac{1}{N_j}\sum_j |A_j(k)|^2 \quad (5)$$

Ortalama dalgacık Enerjisi yaklaşık katsayıları,

Daha sonra, dalgacık ayrışmasından sonra sinyalin toplam enerjisi,

$$E_{total} = \sum_{j=1}^{N+1} \bar{E}_j \quad j = 1,2,\ldots,N+1 \quad (6)$$

Böylece göreceli dalgacık enerjisi (RWE),

$$\rho_j = \frac{\bar{E}_j}{E_{total}} \quad (7)$$

$\sum_j \rho_j = 1$ ve dağılım $\rho_j$ zaman ölçeği yoğunluğu olarak düşünülebilir. Bu, farklı frekans bantlarındaki sinyal enerjisi dağılımını karakterize etmek için bilgi sağlar (Kumar, Dewal, and Anand 2012).

**Özellik Seçimi**

Özellik seçimi, "the curse-of-dimensionality" olarak adlandırılan problemle mücadele etmek için kullanılmıştır (Elder and Pregibon 1996). Önceki çalışmalar, eğitim örneklerinin sayısının özellik vektörlerinin sayısından daha küçük olması durumunda sınıflandırıcının zayıf sonuçlar verme eğiliminde olduğunu göstermiştir (Lotte et al. 2007). Bu çalışmada 84 bireye ait özellik vektörlerinin boyutu oldukça fazladır. Bu nedenle sınıflandırıcının performansını iyileştirmek için geliştirilebilecek önemli özellikleri belirlemek hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmamızda "Best First Search" algoritması kullanılarak özellik seçimi yapılmış ve özellik vektörünün boyutu makul değerlere indirgenmiştir. Elde edilen özellik değerlerinin makine öğrenme algoritmalarıyla elde edilen başarımları gözlenmiş ve sonuçlar oldukça tatmin edici bulunmuştur.

**Naive Bayes**

Naive Bayes algoritması belirli bir veri kümesindeki değer kombinasyonlarını ve frekansları sayarak bir olasılık kümesini hesaplayan sınıflandırma algoritmasıdır. Bu algoritma temelde Bayes teoremini kullanır ve sınıf değişkeninin değeri göz önüne alındığında tüm özniteliklerin bağımsız olduğunu varsayar. Bu koşullu bağımsızlık varsayımı nadiren gerçek dünyadaki uygulamalarda geçerlidir, dolayısıyla niteleme saftır, ancak algoritma çeşitli denetlenen sınıflandırma problemlerinde hızla öğrenme eğilimindedir ve iyi performans göstermektedir (Dimitoglou, Adams, and Jim 2012).

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (8)$$

Önsel olasılık, Bayes teoremine öznellik katmaktadır. Başka bir şekilde ifade edecek olursak P(A) , A olayı ile ilgili henüz hiçbir veri elde edilmeden A olayı hakkında edinilen bilgidir. Diğer taraftan P(B|A) ardıl olasılıktır çünkü veri elde edildikten sonra, A olayının gerçekleşmiş olduğu durumlarda B olayının gerçekleşme olasılığı hakkında bilgi verir (Pawlak 2003).

**Destek Vektör Makinaları (SVM)**

Bir SVM, bir çekirdek işlevi K ( ·, ·), toplamlarından oluşan iki sınıflı bir sınıflandırıcıdır (Cristianini, Shawe-Taylor, and others 2000).

$$f(x) = \sum_{i=1}^{L} \alpha_i t_i K(x, x_i) + d\,, \quad (9)$$

Burada ti ideal çıktılardır, $\sum_{i=1}^{L} \alpha_i t_i$ ve αi> 0. Vektörler xi destek vektörleri olup, bir optimizasyon işlemi vasıtasıyla belirlenen eğitim setinden elde edilmiştir (Collobert and Bengio 2001). İdeal çıktı, sırasıyla, karşılık gelen destek vektörünün sınıf 0 veya sınıf 1'de olup olmadığına bağlı olarak 1 veya -1'dir. Sınıflandırma için, sınıf kararı, f(x) değerinin bir eşiğin üstünde veya altında olup olmadığına dayanır. Çekirdeğin K (·, ·) bazı özellikleri (Mercer koşulu) olması için sınırlandırılmıştır, böylece K (·, ·) aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

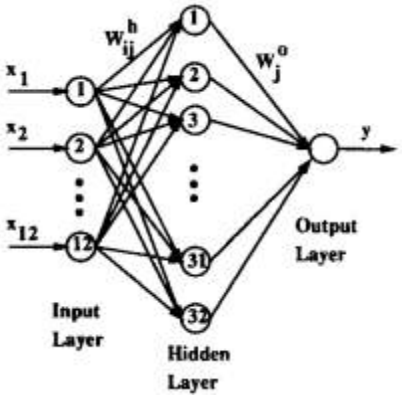
$$K(x, y) = b(x)^t b(y), \quad (10)$$

Burada b(x), (x' in var olduğu) giriş alanından muhtemel sonsuz boyutlu bir SVM genişleme alanını ifade eder. SVM eğitim sürecinin odağı sınıflar arasındaki sınırı modellemektir. Ayrılabilir bir veri kümesi için, SVM optimizasyonu genişleme

alanındaki maksimum sınırla bir hiper düzlemi seçer (Cristianini, Shawe-Taylor, and others 2000). Sınırları yatan eğitim setinden gelen veri noktaları, denklem (10) 'da ki destek vektörleridir (Campbell et al. 2006).

**Çok Katmalı Algılayıcı (MLP)**

Yapay sinir ağları (RP Lippmann 1987), özellikle dikkate alınan görevin altında yatan istatistiklerin iyi anlaşılmadığı durumlarda kullanılır ve girdi ile çıktılar arasındaki karmaşık dönüşümleri öğrenir . Sinir ağları konuşma işleminde kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır (Farrell, Mammone, and Assaleh 1994; Morgan, D. P., & Scofield 1991) ve sadece yakın zaman önce konuşmacı tanıma için düşünülmüştür (Freund and Mason 1999; Latifoğlu et al. 2008).




**Şekil 2.** Tek gizli katmanlı MLP

Şekil 2' de bir gizli katman, bir giriş katmanı ve bir çıktı katmanı içeren bir MLP gösterilmiştir. MLP, perceptron adı verilen basit nöronların bir ağıdır. Tek bir perceptronun temel konsepti 1958'de Rosenblatt tarafından ortaya atılmıştır. Perceptron, giriş ağırlıklarına göre doğrusal bir kombinasyon oluşturarak ve daha sonra bazı doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonu ile çıktıyı koyarak, çok sayıda gerçek değerli girdiden tek bir çıktı hesaplar. Matematiksel olarak bu, şu şekilde yazılabilir:

$$y = \varphi(\sum_{i=1}^{n} w_i x_i + b) = \varphi(w^T x + b) \quad (11)$$

Bir ileri beslemeli ağ tarafından gerçekleştirilen, Lineer olmayan aktivasyon fonksiyonlarına sahip tek bir gizli katman ve doğrusal bir çıkış katmanı için uygulanacak hesaplamalar matematiksel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$x = f(s) = B\varphi(As + a) + b \quad (12)$$

Burada $s$ bir girdi vektörü ve $x$ bir çıkış vektörüdür. $A$ birinci tabakanın ağırlık matrisi, $a$ birinci tabakanın ön gerilim vektörüdür. $B$ ve $b$, sırasıyla, ikinci katmanın ağırlık matrisi ve önyargı vektörüdür. $\varphi$ işlevi, elemanlı bir doğrusal olmama durumunu belirtir. MLP'nin denetlenen öğrenme problemi, geri yayılım algoritması (McClelland and Rumelhart 1988)ile çözülebilir. Algoritma iki aşamadan oluşur. İleri geçişte verilen girdilere karşılık gelen tahmini çıktılar Denklem(12)' de olduğu gibi değerlendirilir. Geriye doğru geçişte, maliyet fonksiyonunun farklı parametrelere göre kısmi türevleri şebeke boyunca geri yayılır. Farklılaşma zinciri kuralı, ileri geçişte olanlar gibi geriye doğru geçiş için çok benzer hesaplama kuralları verir. Ağ ağırlıkları daha sonra gradyan tabanlı optimizasyon algoritması kullanılarak uyarlanabilir. Ağırlıklar birleşinceye kadar tüm süreç yinelenir (Haykin 1994).

**En Yakın k Komşu Sınıflandırma Algoritması (KNN)**

En basit sınıflandırma tekniklerinden biri, en yakın k komşu sınıflandırıcısıdır. Bir girdi özellik vektörü X'in sınıflandırılması, en yakın k eğitim vektörlerini uygun bir mesafe metrik değerine göre belirleyerek yapılır. Vektör X daha sonra, bu en yakın komşuların çoğunluğunun ait olduğu sınıfa atanır (Latifoğlu et al. 2008; Sengur 2008). KNN algoritması, en yakın komşuluklarda bir mesafe fonksiyonu ve bir oylama fonksiyonuna dayanmaktadır, kullanılan metrik Öklid uzaklığıdır. En yakın k komşu sınıflandırıcısı, optimum değerler k (Duda, Hart, and Stork 1998) için iyi bir performans sergilediği söylenen klasik parametrik olmayan denetimli sınıflandırmasıdır.

Çoğu öğreticili öğrenme algoritması gibi, KNN algoritması bir eğitim aşamasından ve bir test aşamasından oluşur. Eğitim aşamasında, veri noktaları n-boyutlu bir alanda verilir. Bu eğitim veri noktalarında, sınıflarını belirten onlarla ilişkili etiketler bulunur. Test aşamasında, etiketlenmemiş veriler verilir ve algoritma etiketlenmemiş noktaya en yakın k (en önceden sınıflandırılmış) veri noktalarının listesini oluşturur. Algoritma daha sonra o listenin çoğunluğunun sınıfını döndürür (Hall 1998; Morgan, D. P., & Scofield 1991) . En yakın k komşu algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (El-Dahshan, Hosny, and Salem 2010) :

1.Uygun bir mesafe metriğini belirleyin.

2.Eğitim aşamasında: P tüm eğitim verilerini P çiftlerine (seçilen özelliklere göre) depolayın, burada $P = \{(y_i, c_i), i = 1, ..., n\}$, $y_i$ bir eğitim modeli Eğitim verileri seti, $c_i$ karşılık gelen sınıf ve n, eğitim kalıpları miktarıdır.

3.Test aşamasında: Yeni özellik vektörü ile depolanan tüm özellikler (eğitim verileri) arasındaki mesafeleri hesaplayın.

4. En yakın komşular seçilir ve yeni örneği sınıf için oy kullanmaları istenir. Test aşamasında verilen doğru sınıflandırma algoritmanın doğruluğunu değerlendirmek için kullanılır. Eğer bu tatmin edici değilse, makul bir doğruluk düzeyi elde edilinceye kadar k değeri ayarlanabilir.

**Random Forest**

Rastgele Orman, ayrılmamış sınıflandırma ağaçlarının bir toplamıdır. Hızlı çalışır ve genelde birçok ağaç tabanlı algoritma üzerinde önemli bir performans gelişimi sergiler. Rastgele Orman'daki sınıflandırma ağaçları, tahmini değişkende bölünmeleri belirlemek için kullanılan Gini düğüm kriterini kullanarak tekrarlanır şekilde oluşturulmuştur. Bir ağaç düğümünün bölünmesi, veride bulunan belirsizliği ve dolayısıyla yanlış sınıflandırmanın olasılığını azaltacak şekilde değişken üzerinde yapılır. Bir ağaç düğümünün ideal bölünmesi, Gini değeri sıfır olduğunda oluşur. Bölme işlemi, birden fazla ağaçtan oluşan bir "orman" oluşturulana kadar devam eder. Sınıflandırma, ormandaki her ağaç en popüler sınıf için bir birim oy kullandığında oluşur. Rastgele Orman, daha sonra ormandaki tüm ağaçlar üzerinde en çok oy alan sınıflandırmayı seçer. Her bir sınıflandırma, verinin rasgele bir alt kümesi aracılığıyla yaratılmış bağımsız olarak oluşturulmuş ağaçlardan oluşan ve aşırı montajdan kaçınarak son bir orman tarafından üretildiği için budama gerekli değildir. Genelleme hata oranları, ormandaki ağaçların mukavemetine ve aralarındaki korelasyona bağlıdır. Ormandaki ağaç sayısı arttıkça bu hata oranı bir sınıra yaklaşır.

Rastgele Orman'ın bir diğer avantajı test seti hatasının tarafsız bir tahminini elde etmek için çapraz doğrulama veya ayrı bir test setinin bulunmamasıdır. Test setinin doğruluğu, çantadan çıkma (OOB) örnekleri çalıştırarak Rastgele Orman 'da dahili olarak tahmin edilmiştir. Rastgele Orman 'da yetişen her ağaç için, vakaların yaklaşık üçte biri çantanın dışındadır (önyükleme örneğinin dışında). Çantanın dışındaki (OOB) örnekler, OOB olmayan veriler üzerinde yetişen ağaç için bir test seti olarak kullanılabilir.

Rasgele Orman algoritması şu şekilde özetlenebilir:

1. Bir sayı n, toplam değişken sayısı N'den (genellikle $n \sim \sqrt{N}$) çok daha küçük olarak belirtilmiştir.

2. Her derinlikteki ağaç budama olmadan eğitim setinin bir önyükleme örneği üzerinde yetiştirilir

3. Her düğümde, N değişkeninin dışındaki n'ler rastgele seçilir

4. Bu n değişken üzerindeki en iyi bölünme, Gini düğüm impurity kriterini kullanarak belirlenir.

Oranın azaltılması, ormandaki ağaçların mukavemetlerini ve aralarındaki ilişkiyi azaltır. Arttırılması her ikisini de artırır. OOB hata oranını kullanarak uygun değer bir n değeri bulunabilir. Bu, rastgele ormanların hassas olduğu tek ayarlanabilir parametredir. Rasgele Orman ' da ki her ağaç için hesaplama karmaşıklığı $\sqrt{N}\, S \log(S)$, burada S eğitim vakalarının sayısıdır. Bu nedenle, gözlemlerin orta sayıda olduğu çok sayıda değişken işleyebilir (Emanet 2009).

## BULGULAR

39 sağlıklı ve 45 şizofreni hastası bireylerden alınan 16 kanallı EEG kayıtlarından her bir kanal ve tüm kanallardan alınan sinyaller için vektörler oluşturulmuştur. Her bir kanal verisi 7680 uzunluğunda tek boyutlu bir veriden oluşmaktadır. Verilere öncelikle standart istatistiksel(ortalama, güç yoğunluğu, maksimum değer, entropi

gibi) özellik çıkarımları uygulanmıştır. Bu özellikler, sinyal verisine uygulanan Göreceli Dalgacık Enerji (RWE) metodu ile elde edilen özellik değerleri ile birleştirilerek sınıflandırma işlemi için gerekli olan özellik değerleri elde edilmiştir. Ancak elde edilen özellik değerlerinin çok fazla olmasına karşılık, veri sayısının (birey sayısı) az olması sınıflandırma başarımlarının doğru olarak ölçülemeyeceği gözlemlenmiştir. Bu nedenle mevcut özellik değerlerinin makul bir sayıya indirgenebilmesi için "Best First Search" algoritması kullanılarak bu özellik değerleri üzerinden özellik seçim işlemi uygulanmıştır. Bu işlemden sonra özellik sayısının daha makul bir değerde olduğu gözlemlenmiş ve uygulanan makine öğrenme algoritmalarıyla sınıflandırılma işleminde başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Tablo 1' de tüm kanallar ve her bir kanal için, beş farklı sınıflandırıcı ile elde edilen başarım değerleri ve elde edilen özellik sayıları görülmektedir. Burada Naive Bayes, SVM, KNN, MLP ve Random Forest makine öğrenme algoritmaları kullanılarak başarın performansları analiz edilmiştir.

**Tablo 1.** Tüm kanallar ve her bir kanal için sınıflandırma algoritmalarıyla elde edilen başarım sonuçları.

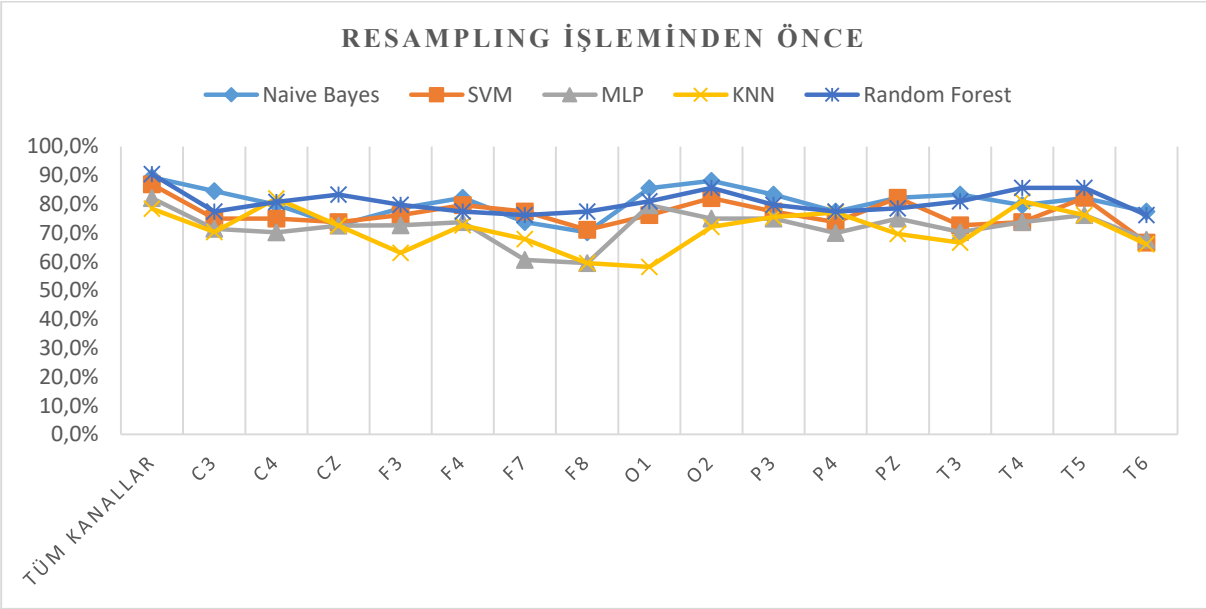
| | **Tüm kanallar** | **C3** | **C4** | **CZ** | **F3** | **F4** | **F7** | **F8** | **O1** | **O2** | **P3** | **P4** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Naive Bayes** | 89,3% | 84,5% | 79,8% | 72,6% | 78,6% | 82,2% | 73,8% | 70,2% | 85,6% | 88,1% | 83,3% | 77,4% |
| **SVM** | 86,9% | 75,0% | 75,0% | 73,8% | 76,2% | 79,7% | 77,4% | 71,1% | 76,2% | 82,1% | 77,4% | 73,8% |
| **MLP** | 82,1% | 71,4% | 70,2% | 72,5% | 72,7% | 73,8% | 60,7% | 59,5% | 79,7% | 75,0% | 75,0% | 70,0% |
| **KNN** | 78,4% | 70,3% | 82,0% | 72,5% | 63,1% | 72,6% | 67,9% | 59,5% | 58,2% | 72,1% | 75,6% | 77,1% |
| **Random Forest** | 90,5% | 77,4% | 80,8% | 83,3% | 79,8% | 77,4% | 76,2% | 77,4% | 81,0% | 85,7% | 79,8% | 77,4% |
| **Özellik Sayısı** | 75 | 21 | 15 | 23 | 20 | 17 | 11 | 13 | 49 | 49 | 31 | 30 |

Tablo1' de görüldüğü üzere özellikle Random Forest ile başarım oranı 90% civarındadır. Burada görüldüğü üzere tüm kanallardan elde edilen özelliklerle elde edilen başarım oranlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Veri sayısı (birey sayısı) az olduğundan mevcut özelliklere Resampling işlemi uygulanarak başarım oranının yükseltilmesi hedeflenmiştir. Tablo 2.'de Resampling işlemi sonucu elde edilen başarım oranları gösterilmektedir. Tablo 2 incelendiğinde elde edilen başarı oranlarında önemli bir artış olduğu görülmektedir. Başarım oranı en yüksek 95,2% olarak elde edilmiştir.

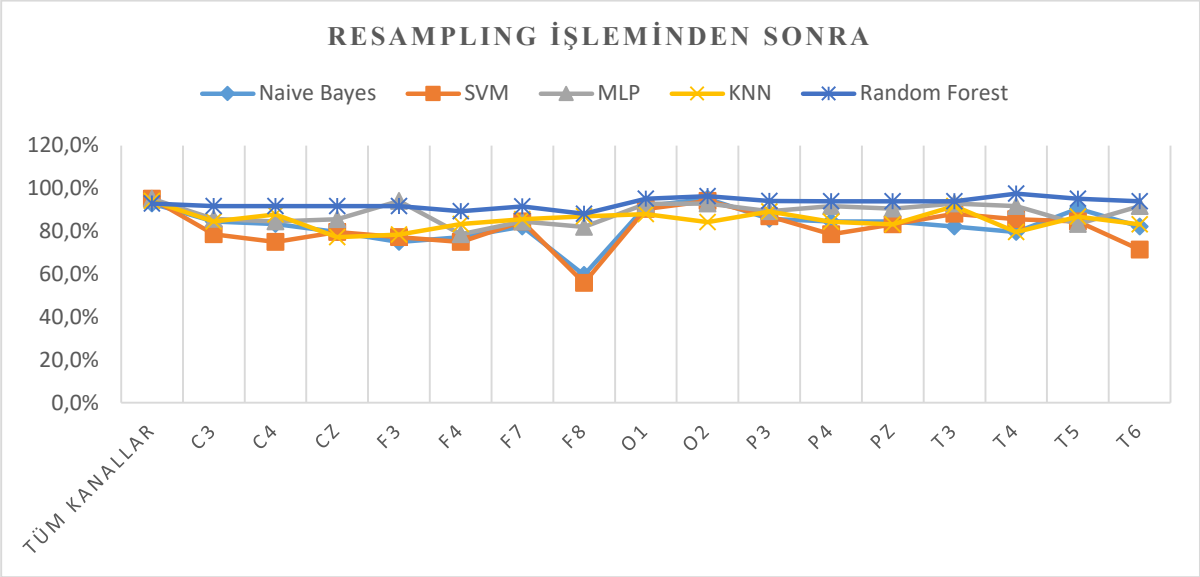
**Tablo 2.** Resampling işlemi sonucu elde edilen başarım sonuçları.

| | Tüm kanallar | C3 | C4 | CZ | F3 | F4 | F7 | F8 | O1 | O2 | P3 | P4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Naive Bayes** | 92,9% | 84,5% | 83,4% | 79,7% | 75,0% | 77,3% | 82,2% | 59,6% | 91,7% | 95,2% | 85,7% | 84,5% |
| **SVM** | 95,2% | 78,6% | 75,0% | 79,7% | 77,2% | 75,0% | 84,5% | 55,9% | 90,4% | 94,1% | 86,9% | 78,6% |
| **MLP** | 95,2% | 85,7% | 84,5% | 85,6% | 94,1% | 78,6% | 84,5% | 82,0% | 92,8% | 92,9% | 89,3% | 91,7% |
| **KNN** | 94,1% | 84,5% | 87,8% | 77,3% | 78,5% | 83,3% | 85,6% | 86,9% | 88,0% | 84,3% | 89,2% | 84,4% |
| **Random Forest** | 92,9% | 91,7% | 91,7% | 91,7% | 91,7% | 89,3% | 91,6% | 88,1% | 95,2% | 96,4% | 94,1% | 94,0% |
| **Özellik sayısı** | 75 | 21 | 15 | 23 | 20 | 17 | 11 | 13 | 49 | 49 | 31 | 30 |

Şekil 3'de Resampling işlemi öncesi ve Şekil 4' de Resampling işlemi sonrası farklı beş makine öğrenme algoritması kullanılarak elde edilen sonuçların grafiği gösterilmektedir.




**Şekil 3.** Resampling işlemi öncesi farklı sınıflandırma algoritmaları için elde edilen başarım grafiği.




**Şekil 4.** Resampling işlemi sonrası farklı sınıflandırma algoritmaları için elde edilen başarım grafiği.

## SONUÇ

Bu çalışmada şizofreni hastası ve sağlıklı bireylere ait EEG kayıtları Göreceli Dalgacık Enerjisi ve standart istatistiksel hesaplama metotları ile analiz edilmiştir. Bu analiz sonucu elde edilen özellik seti, farklı beş sınıflandırma algoritmasıyla sınıflandırılarak, ilgili özelliklerin hastalığı ayırt edici özelliğe sahip olup olmadıkları incelenmiştir. Sonuç olarak, kullanılan sınıflandırma işleminde, resampling işlemi yapılmadan önce tüm kanallardan alınan veri ile başarım 90% civarında elde edilmektedir. Ancak verinin sayısının az olmasından ve verinin daha dengeli olarak dağılımını gerçekleştirmek için, mevcut özellik seti korunarak resampling işlemi uyguladıktan sonra başarım oranının 95%' e kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Bu yaptığımız çalışmada ilgili analiz metotlarının EEG sinyalinden, tanı amaçlı olarak kullanılabilecek önemli özellik değerleri elde ettiğini göstermiştir. Farklı sınıflandırma algoritmalarıyla elde edilen sınıflandırma başarımları analiz edildiğinde, genel olarak bir bireye ait tüm kanallardan alınan kayıtlar ele alındığında tüm sınıflandırıcılar için başarım oranlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ancak kanal bazında elde edilen başarım oranları farklılık göstermektedir. Sonraki çalışmalarda, bu çalışmadaki metot ve yöntemler göz önüne alınarak, şizofreni hastalığının tespiti veya buna benzer alanlarda klinik çalışanlara yardımcı olabilecek sistemlerin geliştirilmesinin mümkün olduğu görülmektedir.

## KAYNAKLAR

American Psychiatric Association. 2000. American Journal of Critical Care *Diagnostic*

*and Statistical Manual of Mental Disorders, 4th Ed. DSM-IV-TR*.

Borisov, S. V., A. Ya Kaplan, N. L. Gorbachevskaya, and I. A. Kozlova. 2005. "Analysis of EEG Structural Synchrony in Adolescents with Schizophrenic Disorders." *Human Physiology*.

Campbell, William M, Douglas E Sturim, Douglas A Reynolds, and Alex Solomonoff. 2006. "SVM Based Speaker Verification Using a GMM Supervector Kernel and NAP Variability Compensation." In *2006 IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing Proceedings*, , I--I.

Chen, X S, J J Wang, F Y Lou, and others. 2000. "A Comparative Study of Positive and Negative Schizophrenics Using BEAM." *Acta Universitatis Medicinalis Secondae Shanghai* 20: 547–49.

Cherif, R., A. Nait-Ali, J.F. Motsch, and M.O. Krebs. 2004. "A Parametric Analysis of Eye Tremor Movement during Ocular Fixation, Applied to Schizophrenia."

Collobert, Ronan, and Samy Bengio. 2001. "SVMTorch: Support Vector Machines for Large-Scale Regression Problems." *Journal of machine learning research* 1(Feb): 143–60.

Cristianini, Nello, John Shawe-Taylor, and others. 2000. *An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning Methods*. Cambridge university press.

Dimitoglou, George, James A Adams, and Carol M Jim. 2012. "Comparison of the C4. 5 and a Na{\"\i}ve Bayes Classifier for the Prediction of Lung Cancer Survivability." *arXiv preprint arXiv:1206.1121*.

Duda, Richard O, Peter E Hart, and David G Stork. 1998. "Pattern Classification ( 2nd Ed .)." *Computational Complexity*.

El-Dahshan, El Sayed Ahmed, Tamer Hosny, and Abdel Badeeh M. Salem. 2010. "Hybrid Intelligent Techniques for MRI Brain Images Classification." *Digital Signal Processing: A Review Journal*.

Elder, J, and D Pregibon. 1996. "A Statistical Perspective on KDD." *Advances in knowledge discovery and data mining*.

Emanet, Nahit. 2009. "ECG Beat Classification by Using Discrete Wavelet Transform and Random Forest Algorithm." In *2009 Fifth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control*, , 1–4.

Farrell, Kevin R, Richard J Mammone, and Khaled T Assaleh. 1994. "Speaker Recognition Using Neural Networks and Conventional Classifiers." *IEEE Transactions on speech and audio processing* 2(1): 194–205.

Freund, Yoav, and Llew Mason. 1999. "The Alternating Decision Tree Learning Algorithm." In *Icml*, , 124–33.

Gaser, Christian et al. 1999. "Detecting Structural Changes in Whole Brain Based on Nonlinear Deformations Application to Schizophrenia Research." *NeuroImage*.

Hall, M. 1998. "Correlation-Based Feature Selection for Machine Learning." Waikato Uni.

Haykin, Simon. 1994. "A Comprehensive Foundation." *Neural Networks*.

Hornero, Roberto et al. 2006. "Variability, Regularity, and Complexity of Time Series Generated by Schizophrenic Patients and Control Subjects." *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*.

Jeong, Jaeseung et al. 1998. "Nonlinear Analysis of the EEG of Schizophrenics with Optimal Embedding Dimension." *Medical Engineering and Physics*.

Keil, Andreas, Thomas Elbert, Brigitte Rockstroh, and William J. Ray. 1998. "Dynamical Aspects of Motor and Perceptual Processes in Schizophrenic Patients and Healthy Controls." *Schizophrenia Research*.

Koukkou, M. et al. 1993. "Dimensional Complexity of EEG Brain Mechanisms in Untreated Schizophrenia." *Biological Psychiatry*.

Kumar, Yatindra, Mohan Lal Dewal, and Radhey Shyam Anand. 2012. "Relative Wavelet Energy and Wavelet Entropy Based Epileptic Brain Signals Classification." *Biomedical Engineering Letters*.

Latifoğlu, Fatma, Kemal Polat, Sadik Kara, and Salih Güneş. 2008. "Medical Diagnosis of Atherosclerosis from Carotid Artery Doppler Signals Using Principal Component Analysis (PCA), k-NN Based Weighting Pre-Processing and Artificial Immune Recognition System (AIRS)." *Journal of Biomedical Informatics*.

Li, Ying Jie, and Fei Yan Fan. 2005. "Classification of Schizophrenia and Depression by EEG with ANNs." In *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology - Proceedings*,.

Lotte, F. et al. 2007. "A Review of Classification Algorithms for EEG-Based Brain-Computer Interfaces." *Journal of Neural Engineering*.

McClelland, James L., and David E. Rumelhart. 1988. "A Simulation-Based Tutorial System for Exploring Parallel Distributed Processing." *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*.

Morgan, D. P., & Scofield, C. L. 1991. "Neural Networks and Speech Processing." *In Neural Networks and Speech Processing* Springer(Boston, MA.): (pp. 329-348).

Paulus, Martin P., Mark A. Geyer, and David L. Braff. 1999. "Long-Range Correlations in Choice Sequences of Schizophrenic Patients." *Schizophrenia Research*.

Pawlak, Zdzisław. 2003. "A Rough Set View on Bayes' Theorem." *International Journal of Intelligent Systems* 18(5): 487–98.

Pressman, A., A. Peledu, and A. B. Geva. 2000. "Synchronization Analysis of Multi-Channel EEG of Schizophrenic during Working-Memory Tasks." In *21st IEEE Convention of the Electrical and Electronic Engineers in Israel, Proceedings*,.

Röschke, Joachim, Jürgen Fell, and Peter Beckmann. 1995. "Nonlinear Analysis of Sleep EEG Data in Schizophrenia: Calculation of the Principal Lyapunov Exponent." *Psychiatry Research*.

Rosenberg, Stewart et al. 1990. "Random Number Generation by Normal, Alcoholic and Schizophrenic Subjects." *Psychological Medicine*.

Rosso, O. A. et al. 2006. "EEG Analysis Using Wavelet-Based Information Tools." *Journal of Neuroscience Methods*.

Rosso, O. A., M. T. Martin, and A. Plastino. 2002. "Brain Electrical Activity Analysis Using Wavelet-Based Informational Tools." *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*.

RP Lippmann. 1987. "An Introduction to Computing with Neural Nets." *IEEE ASSP Magazine*.

Sabeti, M., S. D. Katebi, R. Boostani, and G. W. Price. 2011. "A New Approach for EEG Signal Classification of Schizophrenic and Control Participants." *Expert Systems with Applications*.

Sadock, Benjamin J., and Virginia A. Sadock. 200AD. Lippincott Williams & Wilkins Publishers *Comprehensive Textbook & Psichiatry*.

Sengur, Abdulkadir. 2008. "An Expert System Based on Principal Component Analysis, Artificial Immune System and Fuzzy k-NN for Diagnosis of Valvular Heart Diseases." *Computers in Biology and Medicine*.

# ECOLOGICAL CONDUCTIVE YARN PRODUCTION METHOD FOR ELECTRONIC TEXTILES

Özgü ÖZEN

Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Textile Engineering Dept. Isparta

ozgu.ozen.91@gmail.com

Demet YILMAZ

Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Textile Engineering Dept. Isparta

demetyilmaz@sdu.edu.tr

Kerim YAPICI

Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Chemical Engineering Dept. Isparta

kerimyapici@sdu.edu.tr

**ABSTRACT**: In recent years, with the advancement of technology and the fact that electronic products have become an indispensable part of our lives, it has been become one of the most researched subjects on conductive textiles. Although many methods have been proposed for obtaining textiles conducting electrical current, most of them are not environmentally friendly in terms of water consumption and chemical waste. In this context, the study aimed to develop a new environmentally friendly conductive textile production method which is an alternative to the methods used in the production of conductive textiles. In the proposed method, it is provided to make each fiber conductive before yarn and fabric formation. The high stability graphene based nanosuspension is applied to viscose fibers to provide conductivity. Following the application process, yarn production was realized. In the proposed method, as in the impregnation method, there is no need to remove the remaining solution after passing the textile material through a conductive solution or soaking in the solution and drying after application. With the proposed method, conductive yarn having electrical resistance values ranging between 1.51-5.86 MΩ / cm was obtained. In addition, yarn production with tensile properties required for textile surface production was realized.

**Key words:** conductive yarns, smart textiles, reduced graphene oxide, new environmental approach

## INTRODUCTION

Wearable electronics has become an important field of study in recent years with the advancement of technology and the widespread use of electronic products. Wearable electronics are defined as textiles such as fibers, filaments and yarns as well as woven, knitted or nonwoven surface fabrics that may interact with the environment or the user (Stoppa and Chiolerio 2014). In recent years, the use of conductive textiles for electronic products has attracted considerable attention (Gregory et al., 1989). Due to their rigid structure, electronic devices deform quickly under any influence. However, textile structures have high stability against deformations. However, due to their porous structure, they are breathable and have soft properties (Weng et al. 2016). These features are advantageous in terms of garment comfort. Due to the opportunities provided by textile materials, the combination of textile structures with electronic circuits or elements allows the simultaneous fulfillment of the expected properties of both textiles and electronics.

Conductive textiles have the potential to be used mostly in health, military and aviation fields, but especially with the widespread use of electronics such as mobile phones and computers; It has started to find its place in daily life with examples such as clothes that follow body functions, sportswear activities, jackets integrated with mp3 player, touch screen clothes (Aniolczyk et al. 2004; Ermes and Pärkkä, 2008). As a result of the increase in the usage areas in social life, with the intense interest in conductive textile samples, studies on obtaining these products have increased. Copper, silver, stainless steel, metals such as gold, iron compounds such as FeCl3, silver salts such as AgNO3, conductive polymers such as polyaniline, polyacetylene, polyphenylene, polythiophene, materials such as carbon powder, carbon nanotube and graphene it is used.

In order to provide electrical conductivity to textile structures, researchers use various methods. These methods; production of fibers from metal sheets or tapes (Anderson and Seyam 2002), production of conductive core yarns based on the placement of conductive wires in the core of yarn and coating with staple fibers (Ueng and Cheng 2001), fiber extraction from conductive polymers (Pormfret et al. 1999), fibers of metals (Lu et al. 1996; Rossi et al. 2005), coating metal oxides or salts with conductive carbon or self-conducting polymers (Rossi et al. 1999; Mazzoldi et al 2002) using various methods, passing textile yarns and fabrics through a solution containing conductive material impregnation of the material (Molina et al. 2013a; Molina et al. 2013b). Among these methods, the impregnation method is more preferred because of its applicability to textile processes and its easy and simple process.

The impregnation method, which is used as a common method in the production of conductive textiles as well as in dyeing and finishing processes, causes problems such as the consumption of large amounts of water and waste water and thus the formation of chemical waste. The rapid depletion of the already limited water resources and the

high amount of chemical wastes generated cause environmental problems. Therefore, sustainable, environmentally friendly materials and methods are needed. In this study, it is aimed to develop a new alternative to the methods used in the production of conductive textiles. In this method, it is provided to make each fiber conductive before yarn and fabric formation. First, a certain concentration of solution is prepared with a material having electrical conductivity. Then, while the fibers forming the yarn are in the open state, a certain amount of the prepared solution is applied to the fiber bundle in a controlled manner. Solution is applied to each fiber. Then yarn and fabric are obtained. Thus, as in the impregnation method, there is no need to discard the remaining solution after passing the textile material through a conductive solution or soaking.

## METHODS

In this study, reduced graphene oxide was used as conductive material and viscose fiber was used as yarn raw material. Viscose fibers are also known as 'artificial silk nedeniyle because they give bright and soft properties to textile fabrics. Viscose fibers were preferred in this study due to their characteristics such as absorbing more moisture and being more compatible with human body (Özgüney et al. 2006).

In recent years, many studies have been carried out on the application of graphene based nanomaterials to textile fabrics in order to obtain conductive textile structures. Graphene; It is a two dimensional carbon allotrope with the thickness of an atom formed by the arrangement of carbon atoms in a hexagonal structure in one plane (Çakmak et al. 2017). Due to its two-dimensional structure, flexibility shows superior mechanical, electrical, thermal, optical and opticalelectronic properties (Qu et al. 2014). It is also preferred by researchers because it is reliable in terms of environment and human health and easy to produce and process (Molina et al. 2013a; Molina et al. 2013b; Karimi et al. 2016; Sahito et al. 2016). In the studies, graphite particles are first synthesized by the Hummer method and graphene oxide (GO) suspensions prepared at certain concentrations are applied to woven or knitted fabrics by impregnation method at certain temperatures and durations (Gu and Zhao 2011). GO impregnated and dried fabrics are then subjected to reduction using a certain reducing agent such as $NaBH_4$, $N_2H_4$, $C_6H_8O_6$, $Na_2S_2O_4$ and NaOH under the specified temperature and time. The two-step process of impregnation and subsequent reduction is not practical and environmentally friendly, since it is not a simple and easily applicable process and requires the use of reducing agents with toxic properties. Both impregnation and reduction processes result in high water consumption and waste water generation. In this study, a more environmentally friendly reducing agent such as PSS was obtained and reduced GO was obtained by a single step process and thus a more environmentally friendly material was used.

Nanosuspension containing reduced graphene oxide (rGO) for conductive yarn production was controlled to the fiber bundle by a specially designed feed system. After the nanosuspension is applied, the fiber bundle is spun into a yarn. In this way, it is ensured that the nanosuspension penetrates not only the outer region of the yarn but also the inner region. In the method, there is no need to discard the unused solution. Therefore, this method minimizes the problem of chemical waste occurring in impregnation methods.

**Analyzes**

In this study, the effect of different feed rates on electrical conductivity was investigated and optimum feed amount was determined. In addition, electrical conductivity, strength and elongation properties of yarns treated with reduced graphene oxide (rGO) nanosuspension were investigated. The electrical conductivity of the yarns was realized by using a multimeter device with 2 end points method, and the resistance values representing the inverse conductivity of the yarns were obtained. As the resistance value decreases, the conductivity increases. For resistance measurements, 10 measurements were taken and average values were calculated. The strength and elongation values of the yarn were measured on the Uster Tensorapid tester. The measurement distance of the specimens for strength and elongation values is 500 mm and the average values were determined by taking 10 measurements from the yarns.

## RESULTS AND FINDINGS

**Electrical Resistance Results**

The application of graphene to the viscose fiber bundle was started primarily by investigating the appropriate feed amount and increased from 30000 mL / h to 80000 mL / h. Electrical conductivity could not be measured in the experiments carried out at 50000 mL / h and below, and it was determined that this situation would be caused by insufficient solution. it was observed that the resistance values decreased and the electrical conductivity increased when feeding amount increased from 50000 mL / h to 70000 mL / h. At feed rates above 70000 mL / h, resistance values have tended to increase and conductivity has started to decrease. This is thought to be due to the aggregation of graphene nanoparticles. It was found that the highest resistance and the lowest conductivity values were obtained at 80000 mL / h, which is the highest feed amount. However, the lowest resistance and highest conductivity were observed at 70000 mL / h feed amount. As can be seen from the results listed in Table 1, it was observed that the variation in resistance values decreased with increasing feed amount except 60000 mL / h feed amount and more homogeneously distributed measurement results were obtained.

**Table 1. Resistance Results of Viscose / rGO / PSS Yarns Produced at Different Feed Rates**

| Feed Rates (mL/h) | Average Resistance (MΩ/cm) | Standard Deviation | CV (%) |
|---|---|---|---|
| 50000 | 3,63 | 1,22 | 0,34 |
| 55000 | 2,08 | 0,98 | 0,47 |
| 60000 | 2,25 | 1,49 | 0,66 |
| 65000 | 2,05 | 0,63 | 0,31 |
| 70000 | 1,57 | 0,40 | 0,26 |
| 75000 | 2,05 | 0,34 | 0,17 |
| 80000 | 5,86 | 0,67 | 0,11 |

**Strength and Elongation at Break Results**

With the method developed in the study, rGO nanosuspension was applied to viscose fibers. In order to determine whether the yarns have sufficient strength and elongation properties to be used in fabric production processes such as weaving and knitting, the tensile properties of the obtained yarns were analyzed. The nanosuspension was not applied and the strength and tensile elongation properties of the yarns produced under the same conditions were examined and the results were compared. When the strength results of the yarns were examined, it was determined that viscose-free viscose yarns had values between 16,206 RKM and graphene-containing yarns between 14,013-17,783 RKM. Therefore, it is considered that the strength values of these yarns are comparable to each other. After graphene application, it was observed that the strength values of the yarns tended to increase and decrease depending on the feed amount. When the break elongation results of the yarns were examined, a similar tendency was found to the yarn strength. It was observed that the rupture elongation values of viscose yarns with rGO nanosuspension applied 14,960% and 11,800-14,960% of rGO applied yarns were observed. Consequently, it has been concluded that the conductive yarns produced by the alternative method have yarn flexibility comparable to viscose yarns. On the other hand, it was determined that the elongation at break values tended to increase and decrease as rGO feed amount increased.

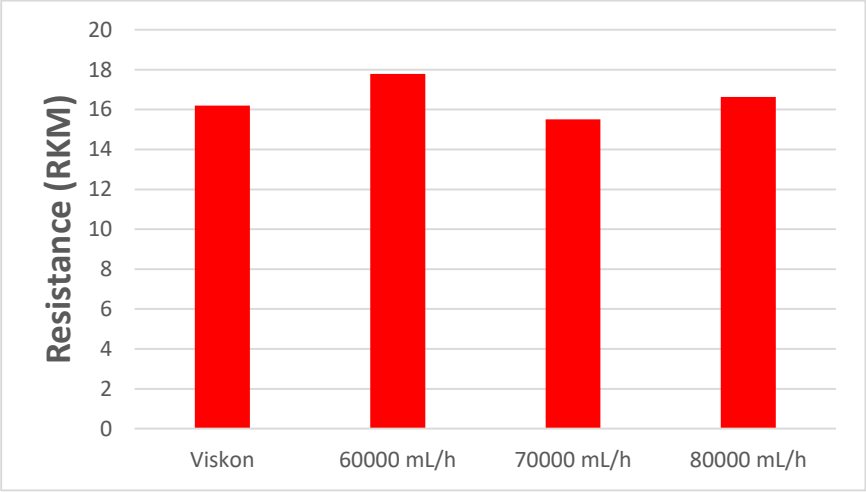



**Figure 2. Yarn Strength Results of Viscose Yarns Applied to rGO Nanosuspension**

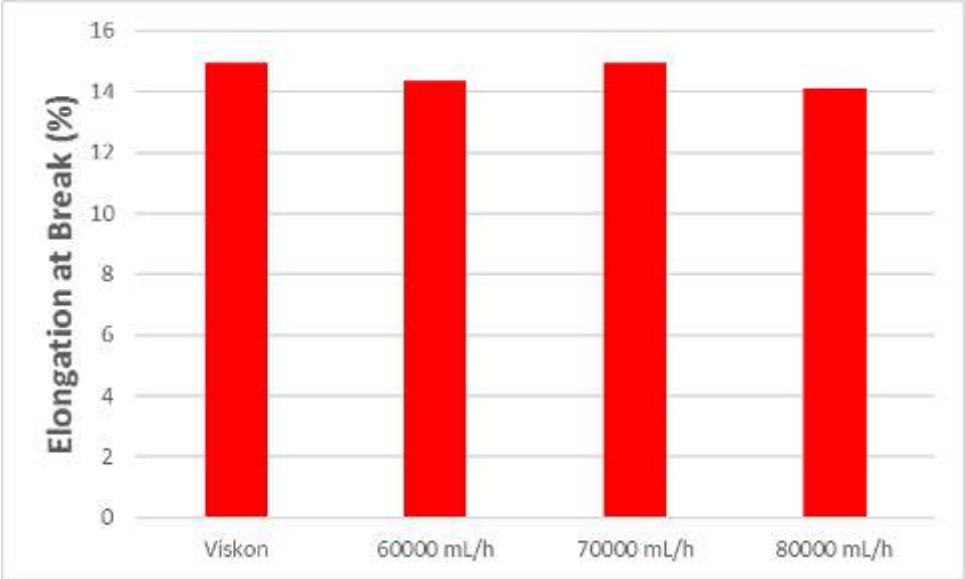



**Figure 3. Breaking Elongation Results of rGO Nanosuspension Applied Viscose Yarns**

## CONCLUSION

Electronic textiles (e-textiles), which emerged from the merger of textiles with electronics, have become a major field of study with high added value, making life easier and brought by the age of technology. In the field of health; to be able to remotely control the health status of patients without fatigue, blood pressure, respiration, etc. In addition to the vital elements such as measuring body functions, determining the life functions and places of the soldiers in the military field, the garments with mp3 player or touch screen that make daily life easier and more enjoyable are no longer a dream, and nowadays can be produced. Although the

majority of these products are still in the experimental stage, production has become a source of inspiration for many fields of study and is still under investigation. Many methods are used to obtain conductive textiles. Although these methods meet the expected conductivity performances according to their application areas (fabric antennas, sensors, etc.), they still have some problems in terms of being a low cost, simple and easy to apply method, maintaining electrical stability against various effects and user comfort. Therefore, there is a need to develop alternative new methods. In this study, an alternative method was developed based on making a conductive solution and conducting each fiber forming the textile structure before yarn and fabric production. In the developed method, water consumption and wastewater formation problems caused by the use of less conductive solution compared to other existing methods have been tried to be minimized. As the conductive material, reduced graphene oxide (rGO) produced by a single step process was used. By the alternative method, rGO-containing nanosuspension was applied to viscose fibers and the conductivity values of the yarns were determined by two-end point method and electrical resistance values were found to vary between 1,51-5,86 MΩ / cm depending on the conductor solution feed amount. It was determined that the strength and elongation properties of the yarns were comparable to those of nanosuspension non-applied viscose yarns.

## RECOMMENDATIONS

With the development of technology, textile, space, health, such as areas have come a long way, although rapidly depleting energy sources, is highly thought-provoking. Therefore, sustainable and innovative methods are needed. In particular, the chemicals used in the textile sector are highly harmful to the environment and therefore the ecosystem is damaged. For this reason, it is very important to use environmentally friendly materials and methods that are safe for human health. The study is in the initial stage and it is considered that there is a need to conduct experiments with different materials in order to increase the conductivity by decreasing the resistance values and to evaluate the performance and garment comfort related properties of the surfaces to be obtained from the yarns.

## ACKNOWLEDGEMENT

This study was carried out by Süleyman Demirel University Scientific Research Projects Management Unit with the support of FYL-6955.

**REFERENCES**

Anderson, K. S. A. M., & Seyam, A. M. (2004). The road to true wearable electronics. *TEXTILES MAGAZINE*, *31*(1), 17-22.

Aniołczyk, H., Koprowska, J., Mamrot, P., & Lichawska, J. (2004). Application of electrically conductive textiles as electromagnetic shields in physiotherapy. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, (4 (48)), 47-50.

Çakmak, N. K., Temel, Ü. N., & Yapıcı, K. (2017). Grafen oksit-su nanoakışkanlarının reolojik davranışlarının incelenmesi. *Cumhuriyet Science Journal*, *38*(4), 176-183.

De Rossi, D., Della Santa, A., & Mazzoldi, A. (1999). Dressware: wearable hardware. *Materials Science and Engineering: C*, *7*(1), 31-35.

De Rossi, D., Carpi, F., Lorussi, F. E. D. E. R. I. C. O., Paradiso, R., Scilingo, E. P., & Tognetti, A. (2005). Electroactive fabrics and wearable man-machine interfaces. *Wearable electronics and photonics*, 59-80.

Ermes, M., Pärkkä, J., Mäntyjärvi, J., & Korhonen, I. (2008). Detection of daily activities and sports with wearable sensors in controlled and uncontrolled conditions. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, *12*(1), 20-26.

Gu, W. L., & Zhao, Y. N. 2011. Graphene Modified Cotton Textiles, In Advanced Materials Research, 331, 93-96.

Gregory, R. V., Kimbrell, W. C., & Kuhn, H. H. (1989). Conductive textiles. *Synthetic Metals*, *28*(1-2), 823-835.

Karimi, L., Yazdanshenas, M. E., Khajavi, R., Rashidi, A., & Mirjalili, M. (2016). Functional finishing of cotton fabrics using graphene oxide nanosheets decorated with titanium dioxide nanoparticles. *The Journal of The Textile Institute*, *107*(9), 1122-1134.

Lu, G., Li, X., & Jiang, H. (1996). Electrical and shielding properties of ABS resin filled with nickel-coated carbon fibers. *Composites Science and Technology*, *56*(2), 193-200.

Mazzoldi, A., De Rossi, D., Lorussi, F., Scilingo, E. P., & Paradiso, R. (2002). Smart textiles for wearable motion capture systems. *AUTEX Research Journal*, *2*(4), 199-203.

Molina, J., Fernández, J., Del Rio, A. I., Bonastre, J., & Cases, F. (2013). Chemical and electrochemical study of fabrics coated with reduced graphene oxide. *Applied Surface Science*, *279*, 46-54.

Molina, J., Fernández, J., Inés, J. C., Del Río, A. I., Bonastre, J., & Cases, F. (2013). Electrochemical characterization of reduced graphene oxide-coated polyester fabrics. *Electrochimica Acta*, *93*, 44-52.

Özgüney, A. T., Körlü, A. E., Bahtiyari, İ., & Bahar, M. (2006). Viskon Liflerinin Fiziksel Özellikleri ve Makromolekülerüstü Yapısı. *Tekstil ve Konfeksiyon*, *2*(2006), 100-104.

Stoppa, M., & Chiolerio, A. (2014). Wearable electronics and smart textiles: a critical review. *sensors*, *14*(7), 11957-11992.

Pomfret, S. J., Adams, P. N., Comfort, N. P., & Monkman, A. P. (1999). Advances in processing routes for conductive polyaniline fibres. *Synthetic metals*, *101*(1-3), 724-725.

Qu, L., Tian, M., Hu, X., Wang, Y., Zhu, S., Guo, X., ... & Tang, X. (2014). Functionalization of cotton fabric at low graphene nanoplate content for ultrastrong ultraviolet blocking. *Carbon*, *80*, 565-574.

Sahito, I. A., Sun, K. C., Arbab, A. A., Qadir, M. B., Choi, Y. S., & Jeong, S. H. (2016). Flexible and conductive cotton fabric counter electrode coated with graphene nanosheets for high efficiency dye sensitized solar cell. *Journal of Power Sources*, *319*, 90-98.

Stoppa, M., & Chiolerio, A. (2014). Wearable electronics and smart textiles: a critical review. *sensors*, *14*(7), 11957-11992.

Ueng, T. H., & Cheng, K. B. (2001). Friction core-spun yarns for electrical properties of woven fabrics. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *32*(10), 1491-1496.

Weng, W., Chen, P., He, S., Sun, X., & Peng, H. (2016). Smart electronic textiles. *Angewandte Chemie International Edition*, *55*(21), 6140-6169.

# A RESEARCH ON SOUND WAVES AND FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS

Mustafa ALTIN

Konya Teknik Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O., İnşaat Bölümü, Konya, maltin@ktun.edu.tr

Sümeyye Hasibe KARA

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, hasibesumeyyekara@gmail.com

**ABSTRACT**: Fire, like an earthquake, is an event that is unclear where and when it will occur, resulting in disaster and is usually a chain of neglect. Fires are mostly resulted from by unpredictable situations such as electricity leakage, gas leakage and neglect. Late-intervention fires can result in loss of life and property. Therefore, early intervention is very important. When a fire occurs, it should be detected as quickly as possible, people should be evacuated and the fire should be intervened. In this study; the basic features of sound have been examined, investigations have been conducted on fire extinguishing systems that use sound waves unlike conventional fire extinguishing systems, and recommendations have been made for the extinguishing mechanism. This mechanism aims to intervene in the fire immediately and without the need for human evacuation.

**Key Words:** Sound waves, Fire Extinguishing, Frequency, Active Fire Extinguishing Systems

## SES DALGALARI VE YANGIN SÖNDÜRME SİSTEMLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

**ÖZET:** Yangın aynı deprem gibi nerede ve ne zaman olacağı belli olmayan, felaketle sonuçlanan ve genellikle ihmaller zinciriyle oluşan bir olaydır. Yangınlar çoğunlukla elektrik kaçağı, gaz kaçağı, ihmal vb. gibi öngörülemeyen durumlardan kaynaklanır. Geç müdahale edilen yangınlar ise can ve mal kaybına neden olabilir. Bundan dolayı erken müdahale çok önemlidir. Bir yangın meydana geldiğinde mümkün olduğunca çok çabuk tespit edilmeli, insanlar tahliye edilmeli ve yangına müdahale edilmelidir. Bu çalışmada; sesin temel özellikleri irdelenmiş, geleneksel yangın söndürme sistemlerinden farklı olarak ses dalgaları kullanan yangın söndürme sistemleri üzerine araştırmalar yapılmış ve söndürme mekanizması için önerilerde bulunulmuştur. Bu mekanizma ile yangına anında ve insan tahliyesine gerek kalmadan müdahale edilmesi amaçlanmaktadır.

**Anahtar sözcükler:** Ses dalgaları, Yangın söndürme, Frekans, Aktif yangın söndürme önlemleri

## GİRİŞ

Yangın, gerekli önlemler alınmadığı takdirde can ve mal kaybına sebep olan önemli bir afettir. Gelişen teknoloji ve sanayileşmenin artması, nüfusun giderek çoğalmasına paralel olarak toplu yerleşim bölgelerinin fazlalaşması, yangın riskinin ve buna bağlı olarak yangının maddi ve manevi zararlarının artışına sebep olmaktadır. Bu sebeple yangın güvenliği adına tüm önlemler alınmalıdır (Ali M. A., 2017). Yangın güvenliği; ölüm, yaralanma ya da maddi hasara neden olan bir yangının çıkma olasılığını azaltmaya yönelik önlemler bütünüdür. Bu önlemler, canlıların yangın yerinden kolaylıkla uzaklaşmaları ve olaydan olabildiğince az zararla kurtulabilmelerini sağlamayı da amaç edinir. Yangın güvenliği önlemleri inşaat sürecinde ele alınabildiği gibi, var olan bir yapıya daha sonra da uygulanabilmektedir (Gültek M., 2005).

Yangın güvenliğinde öncelik yangının hızlı algılanması ve yangına hızlı müdahale edilmesi konularına verilmelidir. Bu tarz istekleri karşılayan sistemlere yangın algılama sistemleri denir. Binalara bu sistemlerin tesis edilmesi gerekmektedir. Yangın güvenliği ile ilgili bu sistemler sayesinde yangın hızlı olarak algılanmakta ve hızlı müdahale edilerek oluşacak maddi ve en önemlisi manevi kayıpların önüne geçilebilmektedir (Gültek M., 2005).

Yangın güvenliğinde ikinci sırayı yangın söndürme sistemleri alır. Geleneksel yangın söndürme sistemleri gerek yangın bölgesindeki ekipmanlara zarar vermesi gerekse insan sağlığı için risk oluşturması bakımından dezavantajlıdır. Ayrıca yangın olması durumunda müdahale için insan gücüne ihtiyaç duyar (Gültek M., 2005).

Geniş bir kullanım alanına sahip olan sesin değişik alanlarda kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır. Son yıllarda ortaya çıkan kullanım alanlarından biri ise yangın söndürme sistemlerinde sesin kullanımıdır. Geleneksel yangın söndürme sistemlerinin dezavantajlarını bertaraf etmek adına ses dalgalarının kullanımı yangın söndürme sistemlerine yeni bir soluk getirecektir.

Sesin yangın söndürme sistemlerinde kullanımı dünyada yok denecek kadar azdır. Bununla ilgili yapılan çalışmalardan ilki; DARPA' nın (Amerikan Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı) yangını akustik yöntemlerle söndürecek bir alet geliştirmesidir. Bu proje ile yangın başlar başlamaz hızla söndürmenin en iyi yolu bulunmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak ses ile yangın söndürmek son deneylere göre mümkün görülmüştür. Yangın söndürücü iki güçlü hoparlör ve belirli frekansta verilen ses sayesinde yanma işlemi bozulmakta ve yangının bileşenlerinden olan oksijen kesilerek yangının sönmesi mümkün olmaktadır. Şekil 1 ve Şekil 2 de yapılan deneysel çalışmalara ait görüntüler yer almaktadır. Ses dalgaları ilk olarak hava akış hızını artırmakta, hız yükseldikçe alev sınır tabakasında incelme olmaktadır. Yanma sıcaklığı sesin ısıyı düzenli dağıtmasıyla azalmakta, yanma işlemi zorlaşmakta ve yangın sönmektedir. Ancak, günlük uygulamalarda yangınları söndürmek için pratik bir aygıt henüz geliştirilememiştir (URL 3, 2012).

**Şekil 1. Belli Frekanstaki Ses Dalgalarının Gönderimi (URL 3, 2012)**

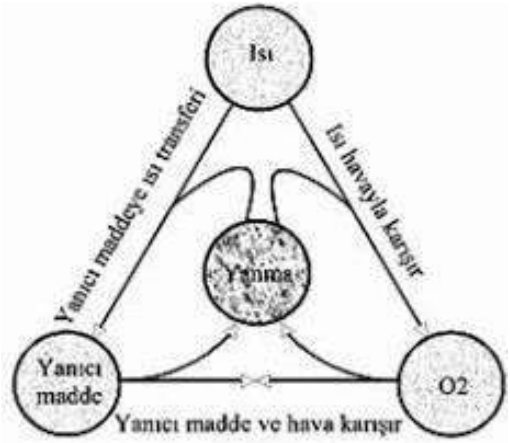
**Şekil 2. Saniyeler içerisinde alevin söndürülmesi (URL 3, 2012)**

Yapılan çalışmalardan bir diğeri ise; Viet Tran ve Seth Robertson' ın nesneleri etkileyenin mekanik ses dalgası olduğu düşüncesi ile geliştirmiş olduğu dalga söndürücüdür. Tran ve Robertson yanan malzeme ve çevresindeki oksijeni, ses dalgaları ile ayırt ederek ve bu ikisi arasındaki reaksiyonu durdurarak yangını söndürmeyi hedeflemişler. 30 ve 60 Hertz arasında düşük frekansların yangınlara etki eden en etkili frekans olduğunu tespit etmişlerdir. Böylece yangında ses dalgalarına odaklanarak bir ses üreteci, bir amplifikatör, güç kaynağı ve tüp bir kartondan oluşan dalga söndürücüyü üretmişlerdir. Bu teknolojinin en önemli avantajlarından biri herhangi bir kimyasal madde ya da suya gerek duymadan yangınla müdahalenin mümkün olmasıdır. Ancak dalga söndürücü sadece kimyasal kaynaklı küçük alevler üzerinde test edilmiştir. Geniş bir uygulama yelpazesi için kullanılacak teknolojinin geliştirilebileceğini belirtmişlerdir. Örneğin, benzer bir cihazın küçük yangınları durdurmak için mutfak davlumbazına monte edilebileceğini ya da uzay istasyonlarındaki yangınları söndürmek için astronotlar tarafından kullanılabileceğini belirtmişlerdir (URL 2, 2015).

**Yangın**

Yanma; yanıcı madde ve gazların hızlı oksidasyonuyla ısı ve ışık üretimidir. Başka bir ifade ile yanma, malzemenin hidrojenden kurtulması ve oksijenin emilimini sağlayan sıcaklık ve akkor hale gelme olayıdır (İplikçi E., 2006).

Yanmanın başlayabilmesi için, yanıcı madde, oksijen ve ısının bir arada bulunması gerekir. Yanma süreci bu üç bileşen olmadan meydana gelmez (Şekil 3). Yangın bileşenleri olan yanıcı maddenin cinsi, miktarı ve dağılımı, oksijen veya havanın oranı, hava büyüklüğü, rüzgârın varlığı ve ısı transferi gibi faktörler yangının yayılmasını etkilemektedirler. Yangının başlangıç, gelişme ve sonuç safhalarında ayrı ayrı davranış biçimleri ve tehlikeler oluşmaktadır (URL 1, 2005).




**Şekil 3. Yangın üçgeni (İplikçi E., 2006)**

**Ses Kavramı**

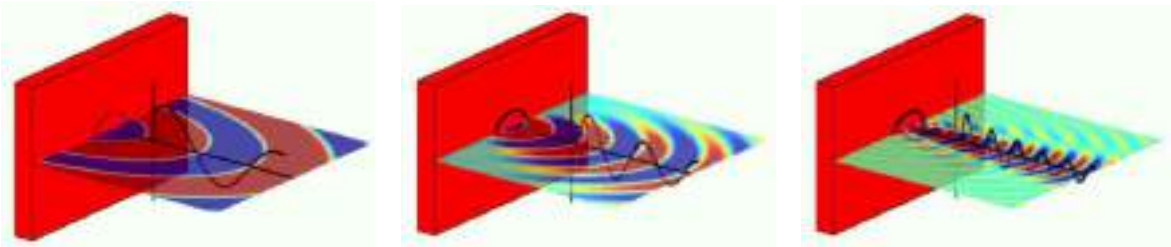
Ses dediğimiz olgu, hareketin meydana getirdiği bir üründür. Diğer bir değişle ses, bir objenin (cismin) titreşimleriyle oluşan bir enerji türüdür. Hareket eden her hangi bir madde havada titreşimler oluşturur, bu titreşimlerin yarattığı etki sestir. Titreşim ise, bir cismin yaptığı ileri, geri, küçük ve çok hızlı harekettir (Yılmaz S., 2008). Sesin oluşması için titreşim ve iletken madde gerekmektedir. Ses dalgaları her türlü iletken maddeler üzerinde değişik hızlarda yol alır (Olesik S., 2000). Ancak iletken maddelerin sesi iletebilecek nitelikte esnek olması şarttır. Bir nesnenin her titreşmesinde, titreşimin bir kısmı sese dönüşerek bir parça enerji kaybına neden olur. Sesin yol alabilmesi için

bir ortam gereklidir. Bu ortam katı, sıvı, ya da gaz olabilir. Ses dalgası ortamda sıkışıklık ve seyreklik bantları oluşturarak ilerler. Sıkışıklık bantları ortam basıncına göre artmış, seyreklik bantları ise azalmış basınç alanlarını ifade eder. Birbiri ardına gelen iki sıkışıklık bandının pik noktaları arasındaki mesafe dalga boyu (l), dalganın birim zamandaki tekrarlama sayısı ise frekans (f) olarak tanımlanır. Sesin ortamdaki hızı (V) ses dalgasının dalga boyu ile frekansının çarpımına eşittir ($V = l \times f$) (Yılmaz S., 2008).

***Sesin Özellikleri***

***Sesin Tizliği***

Sesin tiz veya pes oluşunu belirlemek için sesin frekansları kullanılır. Bir sesin tizliği, o sesin dalgasının frekansı ile ölçülür. Bunun hesaplanması için sesin saniyedeki frekansı bulunur. Frekanslar yükseldikçe ses incelir alçaldıkça ses kalınlaşır. Şekil 4de seslerin dağılım şekilleri görülmektedir (Yılmaz S., 2008).



**a. Pes sesler** **b. Midi sesler** **c. Tiz Sesler**

**Şekil 4. Seslerin dağılım şekli (Özen A., 2012)**

***Sesin Gürlüğü (Desibel Oranı)***

Sesin gürlüğü titreşim genişliğine bağlıdır, ses dalgalarının genliği arttıkça, sesin yüksekliği artar. Ses şiddeti desibel (dB) cinsinden ölçülür. Frekansı 30 Hz' den az ve 15.000 Hz' den fazla olan seslerin duyulması sesin şiddeti ve yüksekliğine bağlıdır (Yılmaz S., 2008).

***Sesin Şiddeti***

Sesin şiddeti; santimetre kare basına düşen güç olarak tanımlanmaktadır. Şiddet belirli bir alanda belirli bir sürede akan enerji akımını ifade eder. Birimi watt/cm$^2$/sn'dir. Tanısal US cihazlarının şiddeti 1-40 miliwatt arasında değişmektedir (Yılmaz S., 2008).

***Hiper Sonik Ses***

Günümüzde kullanılmakta olan geleneksel hoparlörler sadece bir noktaya yayın yapacak şekilde odaklanamazlar. Yaptıkları yayını etki mesafesinde bulunan tüm kişiler duyabilirler. Hiper Sonik Ses (HSS) ise normal ses dalgası gibi her yöne yayılmayıp, lazer ışını gibi doğrusal olarak hareket eder. Ultrasonik ses bir insana çarptığında yavaşlar ve dalgalar değişerek bir araya gelir. Yayının tam karşısında duran bir kişi sesleri bir kulaklıktan duyuyormuş gibi dinler. Yayının karşısındaki kişi alanın dışına çıktığında hiçbir şey duyamaz. Böylelikle kişiye özel ses iletimi gerçekleştirilebilir (Yılmaz S., 2008).

Sesin havadaki yayılma hızı 332 m/s' dir. Sıcaklık arttıkça sesin hızı da artar. Sıcaklık artışı moleküllerin titreşim hızlarını arttırır, dolayısıyla sesin yayılma hızının artmasına sebep olur. Sıcaklıktaki bir derece artışa karşın 0,6 m/s' lik bir hız artışı görülür. 20°C' de ses, havada 344 m/s hızla hareket eder (Yılmaz S., 2008).

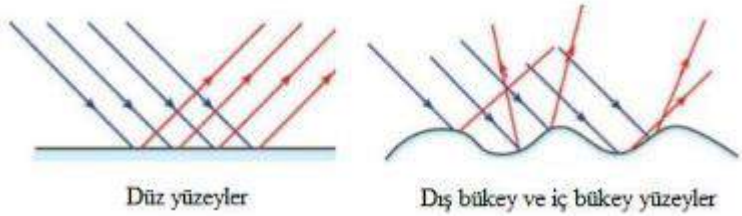
Bazı ortamlarda sesin yayılma hızı değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1. Bazı ortamlarda sesin yayılma hızı değerleri (Yılmaz S., 2008)**

| Ortam | Sesin Yayılma Hızı (m/s) |
|---|---|
| Hava | 332 |
| Su | 1454 |
| Tahta | 3828 |
| Demir | 5103 |
| Taş | 5971 |

Ses dalgasının dalga boyu sesin hızı kullanılarak hesaplanabilir. Hızın frekansa oranı dalga boyuna eşittir. (Yılmaz S., 2008). Ses kaynağından çıkıp yayılan ses dalgaları sert bir yüzeye çarptığında doğrultusunu ve yönünü değiştirir. Bu olaya sesin yansıması denir. Sesin yansıma özelliğinden yararlanılarak uzaklıklar ölçülebilir. Ayrıca sesin yansıma özelliğinden denizdeki balık sürülerinin yerleri, okyanus derinlikleri, uçakların yüksekliği ve bazı maddelerdeki bozukluklar tespit edilebilir. Ses dalgaları bir yüzeye çarpıp yansıyarak tekrar duyulmasına yankı denir. Yankı olayı dağ yamaçlarında, boş odalarda, spor salonları gibi yerlerde gerçekleşir; küçük kapalı yerlerde (3-5 m mesafeden) fark edilmez. Yankı olayının gerçekleştiğinin anlaşılabilmesi için ses kaynağı ile sesin çarptığı engel arasındaki uzaklık hava

ortamında en az 17 m olmalıdır. Şekil 5'de da görüleceği gibi ses kaynağından yayılan ses dalgaları hem doğrudan hem de farklı yüzeylerdeki yansımaları - yankılanmaları sonucu kulağa gelir. Ses kaynağı ile yüzey arasındaki uzaklık 17 m' den daha az olursa kaynaktan yayılıp kulağa gelen ses ile yankılanma - yansıma sonucu kulağa gelen ses birbirinden ayırt edilemez (Yılmaz S., 2008).




**Şekil 5. Farklı yüzeylerde sesin yansıması (Arslan M. A., 2018)**

***Sesin Kırılması***

Ses kırılması, ses dalgalarının bir engelle karşılaştığında yön değiştirmesi olayına denir. Engelin boyutları ve dalganın boyuna göre farklılık gösterir. Sesin dalga boyu eğer bir engelin boyutlarından büyükse kırılma olayı meydana gelir. Kırılma genellikle düşük frekanslarda söz konusu olup, köşe, kolon, kiriş ve duvarlar gibi engellerde bükülerek uzaklaşır ya da dağılır. Yansıtıcı özelliğe sahip, küçük, üniform ve düz yüzeylerde ise istenmeyen kırılma etkileri oluşabilir (Arslan M. A., 2018).

***Sesin Soğrulması***

Ses kaynağından çıkan ses dalgaları katı bir yüzeye (engele) çarptığında ses dalgalarının bir kısmı yüzey tarafından soğrulur, bir kısmı iletilir, bir kısmı da yüzey tarafından yansıtılır. Ses dalgaları katı yüzeye çarptığında bir kısmı soğrulduğu için yüzeyin diğer tarafına iletilen ses dalgalarının şiddeti azalır. Maddelerin sesi soğurma özellikleri farklıdır. Sert yüzeyli cisimlerin sesi soğurma özelliği olmayıp sesi yansıtırken, yumuşak ve pürüzlü yüzeyler ise sesi daha fazla soğurur (Özen A.,2012).

***Sesin Farklı Ortamlarda Yayılması***

Ses katı, sıvı ve gazlarda farklı hızlarda yayılır ve aynı zamanda ses bir ortamdan diğer bir ortama kolaylıkla ve iyi bir şekilde geçemez. Bir tuğla duvara vurulduğu zaman çok az miktarda ses enerjisi havada diğer ortama geçebilir, ses enerjisinin büyük bir kısmı duvardan geri yansır. Boş alanlarda ve özellikle tünellerde ses dalgaları eko yaparak tekrar geri yansır. Eko bazı durumlarda çok ise yaramasına rağmen bazı durumlarda sıkıntıya yol açar. Kütüphane, restaurant ve bunun gibi topluluk alanları sessiz olmalıdır. Bu nedenle bu tür alanlar yumuşak ve engebeli malzemelerle yapılmalıdır. Bunun nedeni bu tür malzemelerin ses dalgaları emmesidir. Bunun yanında konser alanları, konferans salonları gibi alanlar sert ve pürüzsüz malzemeler kullanılarak yapılmalıdır. Böylelikle ses dalgalı emilmeden salonun her tarafına eşit

olarak yayılabilir. Bazı düz pürüzsüz malzemelerle yapılmış alanlarda eko oluşmaz. Bunun nedeni çok yüksek frekanslarda ses titreşimlerinin ultra ses üretmesidir. Havada ses dalgaları görünmez fakat bunların bıraktığı etki görülür. Buna örnek olarak bir plakaya vurulduğu zaman plakada bir titreşim meydana gelir. Burada plakanın titreşimi aynı zamanda plakanın etrafındaki havada da titreşim meydana gelmesi anlamına gelir. Havadaki bu küçük titreşim hareketi (ses dalgası) çok hızlı bir şekilde havada tüm yönlere doğru yayılır (Yılmaz S., 2008).

**Ses ile İlgili Ekipmanlar**

Müzikal enstrümanlar, işitme yardımcıları, sonar sistemler ve yayın ekipmanları ses oluşturan veya sesi kullanan ekipmanlardır. Bunların çoğu mikrofon ve hoparlör gibi elektro akustik dönüştürücü olarak kullanırlar (Özen A., 2012).

***Mikrofon***

Mikrofon, ses dalgalarını elektriksel titreşimlere çeviren, elektro akustik bir cihazdır. Bir ses dalgasındaki titreşimlerin elektriksel benzeri olan sinyali üretmeye yarayan birçok fiziksel prensip vardır. Bunlar, bağlantı direncinin değişimi, piezoelektrik, elektromanyetik ve manyetostriksiyon prensiplerini içine alır. Bütün bu prensipler ve diğerleri yıllarca denenmiş, ancak sonunda piezo-elektrik, elektromanyetik, elektrostatik ve kapasitif prensipleri uygulamaya konmuştur (Özen A., 2012). Bütün mikrofonlar ses dalgalarına tepki gösteren çeşitli şekillerde yapılmış diyafram veya benzeri bir elemana sahiptir. Mikrofona gelen ses dalgaları diyaframa çarpar ve ses basıncındaki değişikliklere göre diyafram içe veya dışa doğru hareket ederek mekanik titreşim yapar. Bu titreşimler sonucunda mikrofonun çıkış uçlarında bir gerilim meydana gelir. Çıkış uçlarında meydana gelen gerilim, hareket eden parçanın hızı veya titreşimlerinin genliği ile orantılıdır (Özen A., 2012).

***Hoparlör***

Hoparlör, elektrik akımı değişimlerini ses titreşimlerine çeviren alettir. 1920 yıllarında elektrikli ses dalgalarının kaydedilip yayınlanmasına imkân sağlayan buluşlar ortaya çıktı. Bu buluşların neticesinde ilk hoparlör 1924-1925 yıllarında yapılmıştır. Chester W. Rice ve Edward W. Kellogg tarafından yapılan çalışmalar hoparlörü geliştirdi. Bu iki bilim adamının ortaya çıkardığı sistem, günümüzde önemli değişikliğe uğramamıştır (Özen A., 2012).

Çalışma şekillerine göre elektrodinamik, magnetostatik, elektrostatik ve elektromanyetik hoparlör olmak üzere dört tip hoparlör vardır. Hareketli bobinli hoparlörler, daire veya elips biçiminde bir diyaframdan meydana gelir. Diyaframın ortası ve kenarları boyunca dizilen yaylarla metal bir çerçeveye asılıdır. Diyaframın ortasında sıkıca tutturulmuş silindir şeklinde bir çekirdek ve üstüne sarılı bir ses bobini bulunur. Bobin ve çekirdek bir mıknatısın kutupları arasına yerleştirilmiştir. Mıknatıs olarak günümüzde yumuşak demirden kalıcı mıknatıslar veya seramik maddeler kullanılmaktadır (Özen A., 2012).

**YÖNTEM**

Ses ile yangın söndürme amacı ile bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da gösterilen deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneğinde şehir elektrik şebekesinden aldığımız enerji kaynağını, frekanslarını istediğimiz gibi değiştirebildiğimiz bir PZT seramik piezoelektrik transdusere bağlayarak ve çıkış olarak piezoelektrik (kristal) hoparlör ile ses frekans devresi tamamlanmıştır. Yangın için ateş kaynağı olarak mum ve çakmak ayrı ayrı kullanılmıştır. İlk olarak hoparlöre 10 cm mesafede mum yerleştirilmiş ve tranduser ile frekans ayarlarını değiştirerek yangın söndürülmesi denenmiştir. Frekans aralıkları değiştirilirken mum sönmüş ve değerleri kaydedilmiştir. Frekans değerleri düşük değerlerde iken mum sönmemiş, frekans değerleri yükseltildiğinde alevlerin arttığı gözlemlenmiştir. Mesafe 15 cm ve 20 cm mesafelere taşınarak deneyler tekrarlanmıştır. Mesafeye göre frekanslarda değişimler olduğu sonucuna gözlemlenmiştir. Aynı deneyler çakmak ateşi ile tekrarlanmış ve buradaki frekanslarda farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışmaların farklı ateş kaynakları ve farklı mesafelerde yangını söndürme frekansları tespit edildiğinde söndürülebileceği düşünülmektedir.

a.Enerji kaynağı b. Piezoelektrik transduser c. Piezoelektrik hoparlör d. Ateş kaynağı

**Şekil 6. Deney düzeneği**

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde ses frekansları tarım, tıp, yer tespiti, sanayi, temizlik sektörü gibi birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. Ses dalgaları kullanılarak yangın söndürme sistemlerinin geliştirilmesi ile zaman, maliyet, can kaybı ve/veya mal güvenliği açısından geleneksel yangın söndürme sistemlerine kıyasla oldukça avantajlıdır. Ses bombası ile orman yangınlarının söndürülme örnekleri, ses ile ciddi yangınların söndürülebileceğini de gündeme taşımıştır. Orman yangınları gibi doğal afetlerde ve büyük yangınlarda itfaiye birimlerinin ulaşamadığı yerlerde insansız hava araçları ile yangının türüne bağlı olarak ses frekansları ile yangınlara müdahale edilebileceği söylenebilir. Bu sistemlerin yeni bilimsel çalışmalarla desteklenmesi, özellikle yapay zeka tekniklerine adapte edilerek bir sonuca ulaşılabileceği düşünülmektedir. Bu motivasyondan hareketle bilgisayar teknolojileri ve yazılımları kullanılarak özellikle uzman sistemler, yapay sinir ağları uygulamaları ile geliştirilerek çalışmaların hızlandırılmasının uygun olacağı kanısına varılmıştır.

**KAYNAKLAR**

Ali M. A. (2017). Cam Lif Takviyeli Betonun Yangın Dayanımlarının Çeşitli Parametreler Açısından İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Konya.

Arslan M. A. (2018). Şekillendirilebilir Isı ve Yalıtım Malzemesinin Geliştirilmesi ve Analizi. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.

Gültek M. (2005). Yangın Güvenliği Çerçevesinde Atriumlu Alışveriş Merkezlerinin Mevzuat Değerlendirmesi ve Örnek Projeler Aracılığı ile Kaçış Yollarının Simülasyonu. Doktora Tezi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.

Heat Transfer (2005). http//www.firesafetyinfo.org/Environment

İplikçi E. (2006). Binalarda Yangın Güvenlik Önlemlerinin Analizi ve Yangın Güvenlikli Bina Tasarımına İlişkin Performans Kriterlerinin Ortaya Konulması. Yüksek Lisans Tezi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara. Sayfa 5.

Olesik S. (2000). SOUND: "Science Projects." Simon de Pinna, Raintree Steck-Vaughn Publishers: Austin. 36-37.

Özen A. (2012). Ses Kaynağının Yönünün Bulunması ve Kaynağın Kamera ile Takibi. Yüksek Lisans Tezi. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

Ses Dalgalarıyla Yangın Söndüren Cihaz- Teknofone (2015). http://www.teknofone.com/ses-dalgalariyla- yangin-sonduren-cihaz-38047/

Sesle Yangın Söndürmek- Bilim ve Teknoloji (2012). https://www.bilim-teknoloji.com/sesle-yangin-sondurmek/

Yılmaz S. (2008). Reflektör Antenin Ses Dalgaları Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Hatay.

# GEMİ KAYNAKLI EMİSYONLARIN HESAPLANMASI; İSTANBUL HAYDARPAŞA LİMANI UYGULAMASI

Mahmut AVCI, Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, avcim@yildiz.edu.tr

Tarık KOÇAL, Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, tkocal@yildiz.edu.tr

Kaan ÜNLÜGENÇOĞLU, Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, kunlu@yildiz.edu.tr

**ÖZET**: Sanayileşmenin artmasıyla ticareti yapılan yüklerin çeşitlenip, miktarının arttığı günümüzde, taşımacılık geçmişte hiç olmadığı boyutlara ulaşmıştır. Taşımacılık sektöründe, düşük maliyet, taşınan mal miktarı ve güvenlik en önemli unsurlardır. Bu sebeplerden dolayı dünyadaki yük taşımacılığının büyük bir çoğunluğu deniz yoluyla yapılmaktadır. Deniz taşımacılığı diğer taşımacılık türlerine göre daha çevrecidir. Ancak uluslararası ticaret hacminin ve dolayısıyla gemi sayılarının artışı, gemi kaynaklı emisyon miktarlarını arttırmıştır. Bu açıdan bakıldığında gemi emisyonları konusu irdelenmesi gereken önemli bir konudur.

Uluslararası Denizcilik Örgütü özellikle SOx, NOx, PM ve CO2 emisyonlarında gemilere sınırlandırmalar getirmektedir. Gemi kaynaklı emisyonların uluslararası kurallar ile sınırlandırılması, gemilerin emisyon takibi ve değerlendirilmesi açısından denizcilik sektörünün yeni teknolojilerle tanışmasını ve büyük bir revizyona gitmesini zorunlu hale getirmiştir. Gemi kaynaklı emisyonların özellikle liman bölgelerinde yüksek değerlerde olduğu, şehir merkezine yakın noktalarda bulunan limanlar için bu emisyonların liman çevresinde yaşayan insanların sağlığını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir.

Marmara bölgesi ve çevresindeki limanlar, İstanbul ve Çanakkale Boğazları, Türkiye için gemi trafiğinin en yoğun olarak yaşandığı bölgelerdir. Bu nedenle bu çalışmada İstanbul Boğazında önemli bir noktada, kent ile iç içe geçmiş durumda bulunan Haydarpaşa Limanı seçilmiştir. 2019 yılı Mart, Nisan ve Mayıs ayları boyunca Haydarpaşa Limanına gelen gemilerin; tipi, inşa yılı, gros tonajı, ana makine güçleri ve devirleri, yardımcı makine güçleri, limana geliş sayıları ve seyir, manevra ve limanda kalış süreleri dikkate alınarak literatürde yer alan emisyon tahmin yöntemleri kullanılarak, geliştirilen web tabanlı veri toplama yazılımı ile NOx, CO2, SO2, VOC, CO ve PM emisyonları hesaplanmıştır.

**Anahtar kelime:** Gemi kaynaklı emisyon, liman emisyonları, küresel ısınma.

# IMPACT OF SVC DEVICES ON POWER SYSTEM LOSSES IN POWER SYSTEM WITHOUT RENEWABLE ENERGY SOURCES

Katarina KECOJEVIĆ
University of Montenegro, Faculty of Electrical Engineering
katarinakecojevic@gmail.com

Ognjen LUKAČEVIĆ
University of Montenegro, Faculty of Electrical Engineering
ognjen.lukacevic96@gmail.com

Martin ĆALASAN
University of Montenegro, Faculty of Electrical Engineering
martinc@t-com.me

**ABSTRACT**: This paper deals with the investigation of the effect of the SVC devices location on the power system losses in power grid. For these purposes the standard IEEE 9-test bus system was used, while all calculations were carried out in program package GAMS. The optimal value of power losses before and after installation of SVC device shows that the position and power of the SVC device greatly influence the amount of losses in the system.

**Key words:** SVC, optimal allocation, IEEE 9-test bus system

## INTRODUCTION

Flexible AC transmission systems, so-called FACTS devices, can help reduce power flow on overloaded lines. These devices will help in case of power system overload and in case of high power system losses.Furthermore, just like reserach conducted by Mathur and Rajiv demonstrate, the usage of FACTS devices will improve the system stability and security.

SVC is one of the most used parallel FACTS devices nowdays. The main motivations in developing SVCs were for enhancing the operational flexibility of the compensator during large disturbances and for reducing the steady-state losses.

Many recent studies have focused on FACTS devices allocation in power system considering the voltage stability and power system losses. In Shaik and Reddy's

research, a systematic method for finding optimal location of SVC is proposed to improve voltage profile of a power system under normal conditions and under contingency conditions with Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm. On the other hand, Belazzoug & Boudour proposed a new technique for the optimal location and design of two kinds of FACTS devices (SVC and TCSC) handling the minimization of transmission losses in electrical network. Using the proposed scheme, the type, the location and the rating of FACTS devices are optimized simultaneously. Similarly, in *FACTS devices allocation for preventive/corrective control against voltage collapse under deregulated power system*, an approach for optimal allocation of FACTS devices under deregulated power systems is presented. In mentioned paper the overall problem is formulated as a mixed integer nonlinear programming problem is solved using hybrid Particle Swarm Optimization. The effectiveness of the proposed approach is demonstrated on modified IEEE 14 bus test system. In *Improvement of voltage stability and reduce power system losses by optimal GA-based allocation of multi-type FACTS devices* a Genetic Algorithm (GA) is presented. Proposed algorithm is tested on IEEE 30 bus power system for optimal allocation of multi-type FACTS devices. Pisica, Bulac, Toma & Eremia presented in their paper *Optimal SVC placement in electric power systems using a genetic algorithms-based method*, a genetic algorithm that tries to identify the optimal location and size of an SVC device. In above mentioned paper, a multi-criteria function is developed, comprising of both operational objectives and investment costs. The computer program is run on a 13 nodes test system, assessing improvements in voltage profile and reducing power losses.

Unlike the available literature researches, in this paper will be observed the impact of SVC devices on power losses observing IEEE 9-test bus system. All testing will be performed by using CONOPT solver embedded in program General algebric Modeling System - GAMS, unlike literature approaches which are dominantly based on the usage of metaheuristic methods.

This paper will be organized in 4 parts. At first, the problem formulation will be given. Secondly, progam GAMS and the IEEE 9-test bus system will be shortly described. The third part will give the optimisation results, obtained in the GAMS, for testing the impact of SVC devices on power losses. Final remarks and conclusion are given in section Conclusion.

## PROBLEM FORMULATION

The goal of this paper is to show the influence of SVC on total power loss depending on its location. Therefore, the objective function in optimization process is function which describes the power system losses. The optimal function (OF), is formulated as follows:

$$OF = \sum_{\substack{i,j \in Nb \\ i \neq j}} \left[ g_{ij} / 2(V_i^2 + V_j^2 - 2V_iV_j \cos(\delta_j - \delta_i)) \right], \tag{1}$$

where $Nb$ is the number of branches of the network; $V_i$ and $V_j$ are the nodal voltages of bus i and bus j respectively; $g_{ij}$ is the conductance of the line $ij$, and $\delta_j$ and $\delta_i$ are phase angles in the busses $j$ and $i$.

The balance equations of active and reactive power in buses are formulated as follows:

$$\sum_g P_{i,t}^g - P_{i,t}^L(i) = \sum_j P_{i,j,t}, \tag{2}$$

$$\sum_g Q_{i,t}^g - Q_{i,t}^L(i) = \sum_j Q_{i,j,t}, \tag{3}$$

where $P_{i,j,t}$ and $Q_{i,j,t}$ represent active and reactive power trough branches, respectively. For the node in which we connect the SVC, (3) will be slightly different. There will be another member on the left side of equality, which is the power of the SVC device $Q_{SVC}$.

Active and reactive power are formulated as follows:

$$P_{ij} = G_{ij}U_i^2 - U_iU_j[G_{ij}cos(\theta_i - \theta_j - \delta_{ij}) + B_{ij}sin(\theta_i - \theta_j - \delta_{ij})],$$
$$Q_{ij} = -U_i^2(B_{ij} + \frac{B_{Cij}}{2}) - U_iU_j[G_{ij}\sin(\theta_i - \theta_j - \delta_{ij}) + B_{ij}\cos(\theta_i - \theta_j - \delta_{ij})]. \tag{4}$$

## PROGRAM GAMS AND IEEE 9-BUS TEST SYSTEM

In this paper the results were obtained using the General Algebraic Modeling System - GAMS program. The GAMS is a modeling tool for mathematical programming and optimization purpose. Like Soroudi said in *Power System Optimization Modeling in GAMS*, it can be used for solving different types of optimization problems. Its efficiency over metaheuristics methods is shown in Ćalasan, Nikitović and Mujović's paper.

In this paper, IEEE 9-bus test system is used as a test network. Graphical view of this network is given in Figure 1. This network consists of three generators and 9 buses.

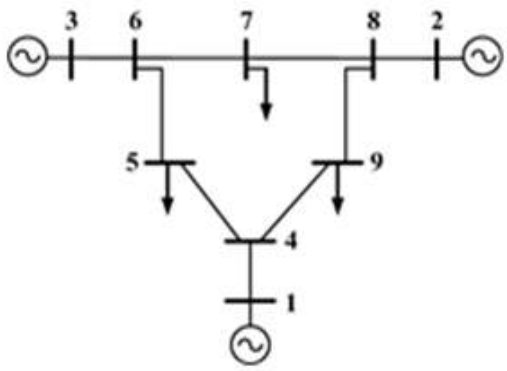



**Figure 1. IEEE 9-test bus system**

## RESULTS

In order to see the impact of SVC devices on power system losses, in this paper, the production of generators, when there are no SVC devices in power network, was optimized. These results are presented in Table 1. After that, all nodes of this network were tested in order to find the optimal value of SVC's reactive power which minimize power system losses. All obtained results are presented in Table 1, too. In this way, the SVC device was found to be optimally located in the ninth node. Also, in this case the minimal value of power losses is 2.242996 MW, which is lower value in comparison with power losses for power network without SVC device for 0.072801 MW. The corresponding optimal value of SVC's reactive power is 28.50485 MVAr.

**Table 1. Power losses with and without SVC device in IEEE 9-bus test system**

| | Power losses [MW] | |
|---|---|---|
| without SVC | 2.3157972 | |
| Location of SVC in node: | Power losses [MW] | Optimal $Q_{SVC}$ [MVAr] |
| 4 | 2.3029419 | 28.3526 |
| 5 | 2.3082493 | 7.81084 |
| 6 | 2.3157972 | 32.73094 |
| 7 | 2.3033475 | 16.99262 |
| 8 | 2.3157972 | 34.88944 |
| **9** | **2.242996** | **28.50485** |

The optimal value of SVC's reactive power can be also found by testing different values of SVC devices connected in certain node. In Table 2 and on Figure 2 the impact of SVC's reactive power on power losses is presented for node 9. It can be seen that the optimal value of SVC's reactive power is around 30MVAr, what corresponds to results presented in Table 1.

**Table 2. Impact Of $Q_{SVC}$ On Power Losses For Node 9**

| $Q_{SVC}$ [MVAr] | Power losses [MW] | $Q_{SVC}$ [MVAr] | Power losses [MW] |
|---|---|---|---|
| -35 | 2.641907 | 10 | 2.26999 |
| -30 | 2.579082 | 15 | 2.25625 |
| -25 | 2.521648 | 20 | 2.248227 |
| -20 | 2.469735 | 25 | 2.24388 |
| -15 | 2.423244 | 30 | 2.243156 |
| -10 | 2.382042 | 35 | 2.246002 |
| -5 | 2.346289 | 40 | 2.252367 |
| 0 | 2.315797 | 45 | 2.266664 |
| 5 | 2.290399 | 50 | 2.289301 |

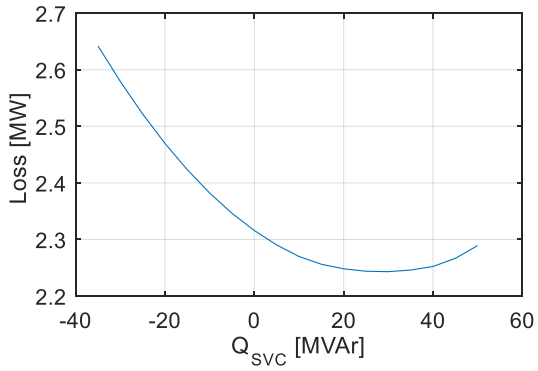



**Figure 2. Impact Of $Q_{SVC}$ On Power Losses For Node 9**

## CONCLUSION

In this paper, program GAMS has been used for finding the optimal placement and sizing of SVC for minimizing power system losses. The proposed approach has been implemented on IEEE 9-bus system without renewable energy sources. It is shown that by using SVC device and with optimal location of SVC device the power losses can be reduced significantly. In the future work, the impact of the optimal location of SVC devices on power losses, in presence of renewable power source, will be observed.

## REFERENCES

Mohan Mathur R. & Varna Rajiv K. (2002). Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission

Systems, *Wiley-IEEE Press, 1 edition.*

Shaik M. R. & Reddy A. S. (2016). Optimal placement and sizing of FACTS device to overcome contingencies

in power systems, *2016 International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPES), Paralakhemundi, pp. 838-842.*

Belazzoug M. & Boudour M. (2010). FACTS placement multiobjective optimization for reactive power system compensation, *7th International Multi- Conference on Systems, Signals and Devices, Amman, pp. 1-6.*

Wibowo R. S, Priyadi A, Soeprijanto A. & Yorino N. (2011). FACTS devices allocation for preventive/corrective control against voltage collapse under deregulated power system, *TENCON 2011 - 2011 IEEE Region 10 Conference, Bali, pp. 918-922.*

Baghaee H. R, Jannati M, Vahidi B, Hosseinian S. H & Rastegar H. (2008). Improvement of voltage stability and reduce power system losses by optimal GA-based allocation of multi-type FACTS devices, *11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, Brasov, pp. 209-214.*

Pisica I, Bulac C, Toma L. & Eremia M. (2009). Optimal SVC placement in electric power systems using a genetic algorithms based method, *IEEE Bucharest PowerTech, Bucharest, pp. 1-6.*

Soroudi A. (2017). Power System Optimization Modeling in GAMS, *Springer*.

Ćalasan M, Nikitović L. & Mujović S. (2019). *J. Renewable Sustainable Energy 11, 046301;doi: 10.1063/1.5113902 11, 046301-1.*

# BENEFITING FROM RAINWATER POTENTIAL in HOUSINGS

Ramazan VAROL, Department of Energy Systems Engineering, Recep Tayyip Erdogan University, 53100 Rize, Turkey, ramazanvaroll@gmail.com

Burak MARKAL, Department of Energy Systems Engineering, Recep Tayyip Erdogan University, 53100 Rize, Turkey, burak.markal@erdogan.edu.tr

**ABSTRACT**: Water is the most basic requirement for the survival, but incorrect and / or unnecessary usage will result in the problem of depletion of clean water resources in the future. In housings (in bathrooms and toilets), by utilizing rainwater potential instead of clean drinking water coming from plumbing line, both efficient use of clean water resources and reduction of energy consumption can be achieved. In this context, in this study, for the province of Rize, where rainfall potential is high, the calculation of the usage of rain water in houses is made. As an example, a five-storey and fifteen flats residence was selected in Rize province and the potential of rainwater collected on the roof in terms of domestic usage was evaluated according to the annual rainfall regime. The column diagram of the rain water collection system was drawn and the cost analysis was made to calculate the depreciation time.

**Key words:** the usage of rainwater, importance of water, cost analysis.

KONUTLARDA YAĞMUR SUYU POTANSİYELİNDEN FAYDALANMA

**ÖZET:** Su, canlılığın devamı için en temel gereksinimdir ancak yanlış ve/veya gereksiz kullanım sonucunda gelecekte temiz su kaynaklarının tükenmesi problemi ortaya çıkacaktır. Konutlarda banyo ve tuvaletlerde, sıhhi tesisat hattından gelen temiz içme suyu yerine yağmur suyu potansiyelinden yararlanılarak hem temiz su kaynaklarının verimli kullanılması hem de enerji tüketiminin azaltılması sağlanabilir. Bu kapsamda, bu çalışmada, yağış potansiyelinin fazla olduğu Rize ili için, yağmur suyunun konutlarda kullanılmasıyla ilgili hesaplama yapılmıştır. Örnek olarak, Rize ilinde beş katlı ve on beş daireli bir konut seçilmiş ve yıllık yağış rejimine bağlı olarak çatıda toplanan yağmur suyunun evsel kullanım açısından potansiyeli değerlendirilmiştir. Yağmur suyu toplama sisteminin kolon şeması çizilmiş ve maliyet analizi yapılarak amortisman süresi hesaplanmıştır.

**Anahtar sözcükler:** yağmur suyu kullanımı, suyun önemi, maliyet analizi

## GİRİŞ

Su, canlılar açısından en önemli doğal kaynaklardan biri olup, biyolojik yaşamın sürekliliğinin sağlanması ve çeşitliliğinin korunması bakımından vazgeçilmezdir. Yeryüzünün yaklaşık olarak dörtte üçü sularla çevrili olup, Alparslan vd. (2008) tarafından belirtildiği üzere dünyadaki suyun %97'si denizlerde, %2'si kutuplarda, %1'i ise karada bulunmaktadır. Yeryüzündeki herhangi bir su kaynağında bulunan su, güneş ışınlarına maruz kaldığında, bir başka ifade ile ısındığında, buharlaşarak atmosfere ulaşır ve soğuk tabakalarla etkileşmesi durumunda, yağmur veya kar olarak tekrar yer yüzene düşer. Bu döngü yaşam boyunca sürüp gitmektedir ancak gereksiz kullanım, plansız nüfus artışı, küresel kirlilik ve benzeri sebeplerle ilgili döngü zarar görmektedir (Alparslan vd., 2008). Alparslan vd. (2008) ve Şahin ve Manioğlu (2011) tarafından da belirtildiği üzere temiz su kaynaklarında yaşanan ve yukarıda bahsedilen problemlerden dolayı ülkeler sürdürülebilir su politikaları uygulamak zorunda kalmaktadır.

Ülkeler su potansiyeline göre sınıflandırıldığında, yılda kişi başına düşen ortalama kullanılabilir su miktarı 1000 $m^3$'ten az olanlar, su fakiri; 1.000-3.000 $m^3$ arasında olanlar su sıkıntısı çeken; 3.000-10.000 $m^3$ arasında olanlar suyun yeterli olduğu, 10.000 $m^3$'ten fazla olanlar ise su zengini ülkeler olarak adlandırılmaktadır (Alparslan vd.,2008; Şahin ve Manioğlu, 2011).Ülkemizde ise kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı yılda 1.500 - 1.600 $m^3$ olup, su sıkıntısı çeken ülke konumunda bulunmaktayız. Gelecek yirmi yıl içinde ise bu değerin 1042 $m^3$/yıl'a düşüp, ülkemizin su fakiri ülkeler arasına gireceği beklenilmektedir (Eren vd.,2016; URL-3, 2019). İlgili veriler ve ön görüler ülkemizde su yönetiminin kritik öneme sahip olduğunu belirtmektedir.

Şehirlerdeki temiz su, deniz, gölet ve/veya akarsulardaki suyun çeşitli işlemlerden geçirilerek kullanıma hazır hale getirilmesiyle elde edilmektedir. Kullanım arttıkça, su arıtma tesislerinin ve/veya su depolarının kapasiteleri artırılmakta, böylece ilk yatırım maliyeti ve harcanan enerji miktarı artmaktadır. Bu sebeple, su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına katkı sunmak adına evlerde klozet ve helalarda temiz arıtılmış içme suyu yerine yağmur suyu kullanılarak temiz su tüketiminin azaltılmasına katkı sunulabilir. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan bazıları aşağı özetlenmiştir:

Yaman (2009) sunmuş olduğu çalışmada, Siemens Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nde yeşil bina kapsamında, su korunumuna yönelik yapılan girişimler hakkında bilgi vermiştir. Bu kapsamda, çatıdan toplanan yağmur suyunun yangın sulama tertibatında ve tüm alan içerisinde kullanım suyu olarak değerlendirilmesi, bina dışında ise peyzaj sulamasında kullanılması sağlanmıştır. Erengezgin (2009) yaptığı

çalışmada, Diyarbakır Güneş Evi'nde çatılardan toplanarak su deposuna gelen yağmur suyu ile evsel atık su arıtımından elde edilen suyun, karbon filtreden geçirilerek bahçe sulamasında ve tuvalet rezervuarlarında kullanılmasına yönelik çalışma yapmıştır. Şahin ve Manioğlu (2011) tarafından ise Borusan Oto İstinye Tesisleri'nde çatılardan toplanan yağmur sularının, tuvalet rezervuarlarında, araç yıkamada, bahçe sulamada ve yangın deposunda kullanıldığı belirtilmiştir. Ayrıca, URL-1 (2019)'da, Bursa Gaz Genel Müdürlük Binası'nın çatısındaki yağmur suları ile binanın çevresindeki drenaj sularının biriktirilip filtrelerden geçirilerek depolandığı ve depolanan suyun, yeşil alanların sulanması ve tuvalet rezervuarlarında kullanılmakta olduğu belirtilmektedir.

Bayar (2006), Karabük ili için yapmış olduğu çalışmada, sarnıçlarda toplanan yağmur sularının, dokuz bloklu bir sitenin tuvalet temizliğinde kullanılabilirliğini incelemiş ve amortisman süresinin on iki yıl olacağını belirlemiştir. Eren vd., (2016) Sakarya Üniversitesinin kampüsü içerisinde bulunan binaların çatılarında toplanan suyun yeşil alanların sulanmasındaki kullanılabilirliğini incelemiştir. Kılıç ve Abuş (2018), bir konutun çatısında toplanan yağmur suyunun konut dışı olan su ihtiyaçlarında kullanım potansiyelini incelemiştir. Bu incelemede, su ihtiyacı, su potansiyeli ve maliyet hesabı yapılmıştır.

Yukarıdaki paragraflarda, su yönetiminin önemi vurgulanmış ve temiz su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına yönelik yapılan çalışmalar özet halinde verilmiştir. Bu kapsamda, bu çalışmada, Rize ilinde, beş kat ve on beş daireden oluşan bir apartman seçilerek, çatıda toplanacak yağmur sularının banyo ve tuvaletlerde kullanımına yönelik hesaplama yapılmıştır. İlgili tesisatın kurulum maliyeti, ilin su potansiyeli, ihtiyaç duyulan su miktarı ve amortisman süresi hesaplanmıştır.

## YÖNTEM VE BULGULAR

### Yıllık Yağış Potansiyelin Hesaplanması

Rize ili için yıllık yağış potansiyeli dikkate alınarak elde edilebilecek maksimum yağmur suyu miktarı hesaplanacaktır. Bu kapsamda, URL-4 (2019)'da belirtilen hesaplama prosedürü dikkate alınmıştır. İlgili hesaplama için gerekli olan tanımlama ve veriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Yağmur toplama alanı (YTA): Toplam çatı alanı (470 $m^2$)
- Yağmur yağış miktarı (YYM): Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan yıllık yağış miktarı (2296.1l/$m^2$).
- Çatı katsayısı (ÇK): Alman standartlarına (DIN 1989) göre belirlenen katsayı (0.8). Çatı katsayısı çatıya düşen yağmurun tamamından verim alınamayacağını belirtmektedir.

- Filtre etkinlik katsayısı (FEK):Alman standartlarına (DIN 1989) göre belirlenen katsayı (0.9). Çatıda elde edilen yağmur suyunun, görünen katı maddelerden ayrıştırılması için geçirilen ilk filtrenin verimlilik katsayısıdır. Suyun bir miktarının buradan geçemeyeceğini belirten katsayıdır.

Yıllık yağış potansiyel hesabı = Yağmur toplama alanı x Yağış miktarı x Çatı katsayısı x Filtre etkinlik katsayısı (1)

**Tablo 1. Rize İli için yıllara bağlı (1928 - 2018) olarak gerçekleştirilen ortalama akış değerleri (URL-2., 2019)**

| Aylar | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Yıllık |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Yağış Miktarı Ortalaması (mm) | 234.1 | 185.8 | 161.3 | 95.9 | 96.3 | 133.1 | 152.1 | 194.6 | 253.1 | 294.0 | 256.9 | 238.9 | 2296.1 |

Bu çalışma kapsamında, Rize ilinde on beş daireli bir konut seçilmiştir. Yağmur toplama alanı olarak 470 $m^2$'lik bir çatı alanı belirlendi. Rize ili için ortalama yıllık yağış miktarı (1918-2018 yılları arasındaki) 2296.1 mm (2296.1 l/ $m^2$) olarak ölçülmüştür (URL-2 2019). Alman standartları tarafından belirlenen çatı katsayısı ve filtre etkinlik katsayısı ele alınarak hesaplama yapılmıştır. Bu veriler doğrultusunda çatının kapladığı alana düşen yıllık yağış potansiyel hesabı aşağıdaki gibidir:

Yıllık yağış potansiyel hesabı = 470 $m^2$ x 2296.1 l/ $m^2$ x 0.8 x 0.9 = 777000.24 litre = 777 $m^3$

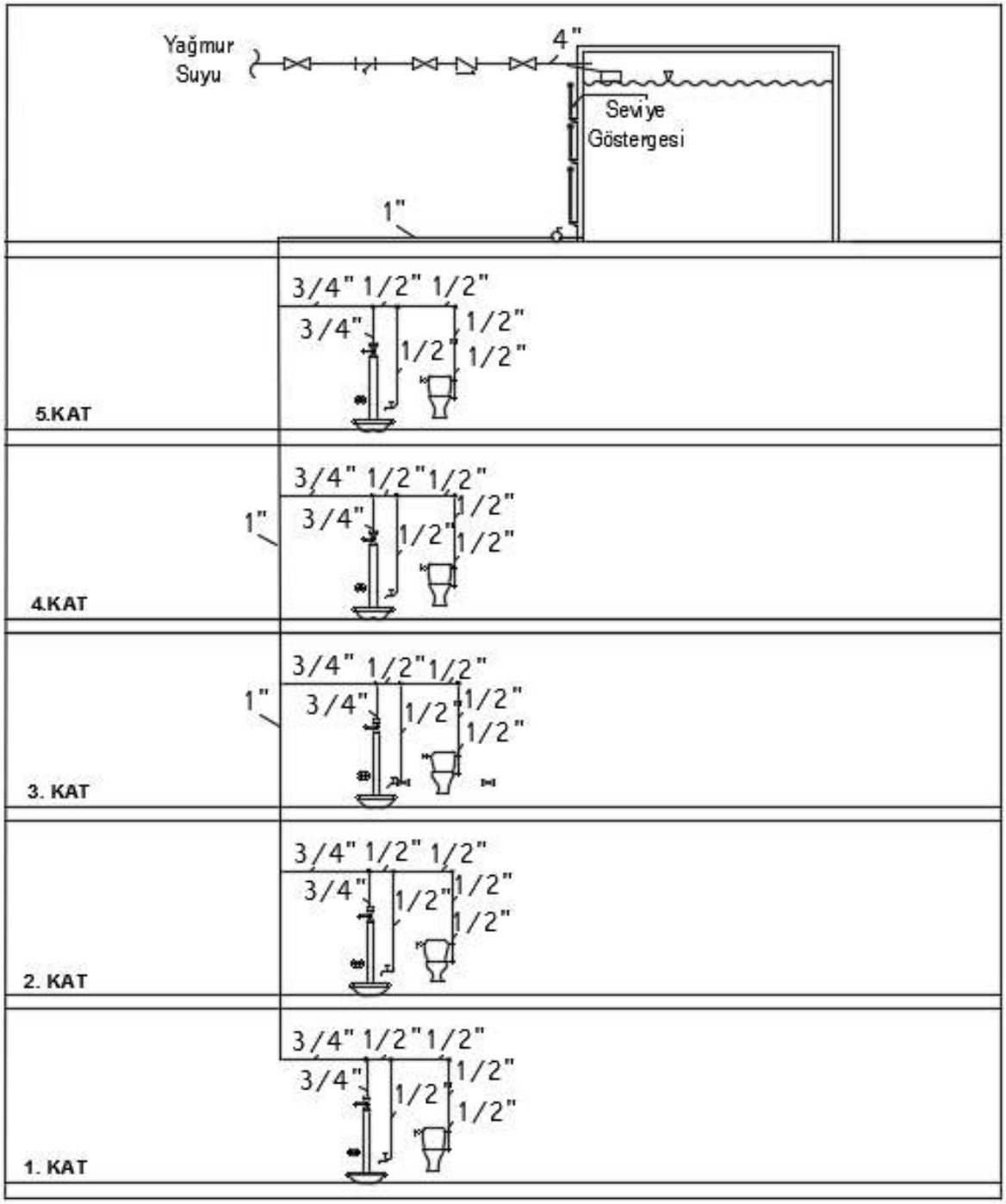
**Yıllık İhtiyaç Duyulan Su Tüketiminin Belirlemesi**

Yağmur suyu, konutlarda kullanım suyu olarak, kimyasal dezenfeksiyondan geçmeden tuvalet rezervuarlarında kullanılabilmektedir. Konutlarda su kullanımın önemli bir bölümü (yaklaşık %30) tuvalet rezervuarlarında kullanılmaktadır. Bu kapsamda, tuvalet ve banyolardaki rezervuarlarda yağmur suyu kullanılarak şebeke suyundan tasarruf sağlanmış olacaktır. Örnek olarak 15 daireli bir konut seçilmiştir. Her bir dairede, gerçek uygulamalara bağlı kalarak, 4 litre ile tam yıkama yapabilen rezervuarlı klozet ve 13 litrelik rezervuarlı alaturka hela tesisatı kullanıldığı düşünülmüştür. Böylece, tek bir daire için alaturka hela ve klozeti kapsayacak şekilde ortalama su tüketimi 8.5 litre olarak belirlenmiştir. Tek kişinin günlük ortalama 2 kez

tuvalet rezervuarını kullanacağı düşünüldüğünde, kişi başına düşen su tüketimi günlük 17 litre olacaktır. Her bir dairede 4 kişinin yaşayacağı düşünülmüş ve böylece tek bir dairedeki tuvalet rezervuarları için gerek duyulan su tüketiminin 68 litre olacağı belirlenmiştir.

- Apartmanın günlük su tüketimi miktarı: 68 litre/daire x 15 daire = 1020 Litre = 1.02 $m^3$
- Apartmanın aylık su tüketimi miktarı:1.02 $m^3$x 30 = 30.6 $m^3$
- Apartmanın yıllık su tüketimi miktarı: 30.6 $m^3$ x 12 = 367.2 $m^3$
- Tesisatta kullanılacak su deposu hacmi belirlenirken, apartmanın aylık su tüketimi ihtiyacı dikkate alınmıştır. Bu kapsamda, 37.5 $m^3$ hacimli su deposu seçilmiştir.
- Çatı yüzeyine düşen yağmurun su deposuna iletilmesi gerekmektedir. Bunun için çatıda yağmur suyu boru çapı hesabı yapılmıştır (MMO, 2008). İlgili hesaplama için Makine Mühendisleri Odasının Sıhhi tesisat proje hazırlama esasları ve iki yüz on sayılı kitabındaki hesaplama prosedürü dikkate alınmıştır. Yapılan hesap sonucunda beş adet 100 mm çaplı yağmur suyu borusu gerektiği belirlenmiştir.

Su deposu ve rezervuarlara giden su hattı için kolon şeması çizilmiştir. Şekil 1'de verilen kolon şeması dikkate alınarak yağmur suyundan kaynaklı ek maliyet hesabı yapılmış ve Tablo 2'de verilmiştir:




**Şekil 1.Tesisat kolon şeması**

**Tablo.2 Yağmur Hasadının Sistem Maliyeti**

| Ürün | Özellik / Ölçü | Birim | Miktar | Maliyet (TL) |
|---|---|---|---|---|
| Prizmatik Modüler Galvanizli Su Deposu | 37.5 | m³ | 1 | 23.255,98 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Polipropilen Temiz Su Borusu | 1/2 " | m | 40 | 213,16 |
| Polipropilen Temiz Su Borusu | 3/4 " | m | 30 | 267,38 |
| Polipropilen Temiz Su Borusu | 1 " | m | 40 | 359,09 |
| PVC Yağmur Suyu Borusu | 100 mm | m | 30 | 608,33 |
| Küresel Vana | 100 mm | Adet | 3 | 1.442,79 |
| Küresel Vana | 25 mm | Adet | 1 | 45,69 |
| Flatör | 100 mm | Adet | 1 | 1.916,03 |
| Pislik Tutucu | 100 mm | Adet | 1 | 1.387,89 |
| Geri Tepme Ventili | 100 mm | Adet | 1 | 658,34 |
| | **Toplam (KDV Hariç) = 30.354,68 TL** | | | |
| | **Toplam (KDV Dahil) = 35.818,52 TL** | | | |

(Not: Yukarıdaki fiyatlara montaj bedeli de dahildir.)

Yukarıda belirtildiği üzere, yıllık olarak tasarruf edilen su miktarı 367.2 $m^3$'tür. Rize Su ve Kanalizasyon İşleri Müdürlüğü meskenler su satış fiyatı 2019 yılı için (şebeke suyu ücreti KDV dahil) 3,24 TL / $m^3$ olarak belirlenmiştir (URL-5., 2019). Bu şekilde, tasarruf edilen tutar, yıllık olarak, 1.189,73 TL olarak hesaplanmıştır. Bu tutar üzerinden değerlendirildiğinde, amortisman süresi yaklaşık 30 yıl olup, su fiyatlarındaki yıllık enflasyon artışı da hesaba katıldığında (yaklaşık %10 olarak alınmıştır) amortisman süresi yaklaşık 14 yıl olacaktadır.

## SONUÇ

Bu çalışmada, yağmur suyunun konutlarda kullanımına yönelik inceleme yapılmıştır. Rize ilinde on beş daireden oluşan beş katlı bir apartman seçilmiştir. Hesaplamalarda gerçek meteorolojik veriler kullanılmıştır. Yağmur suyundan faydalanmak için gerekli tesisat çizimi, hesabı ve maliyet analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- Yağmur suyu, konutlarda tuvalet ve banyolardaki rezervuarlarda kullanılabilir. Böylece, temiz su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına ve ülke ekonomisine katkı sunulabilir.
- Su fiyatları enflasyona bağlı olarak zaman içinde artmaktadır ve bir binanın ortalama ömrü yaklaşık 50 yıl olarak kabul edilir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, yağmur suyundan faydalanmak, konut sahiplerine ekonomik olarak avantaj sunacaktır.
- Sisteme yerleştirilen su deposunda biriken yağmur suları binalarda bahçe sulama ve apartman temizliği kapsamında da kullanılabilir.

**KAYNAKLAR**

Şahin, N., & Manioğlu G. (2011). *Binalarda yağmur suyunun kullanılması*. Tesisat Mühendisliği, 125: 21-32.

Alparslan N., Tanık A & Dölgen D**.** (2008). *Türkiye'de Su Yönetimi Sorunlar ve Öneriler*. Türk Sanayicileri ve

İşadamları Derneği (TÜSİAD) Yayın No: T/2008-09/469.

DIN. (1989). *Regenwassernutzungsanlagen.* Deutsches Institut Normung DIN: German.

YAMAN, C. (2009) "*Siemens Gebze Tesisleri Yeşil Bina*", IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.

ERENGEZGİN, Ç. (2009) "*Diyarbakır Güneş Evi*", Yapı Dergisi Yapıda Ekoloji Eki.

Makine Mühendisler Odası (2008); *Sıhhi Tesisat Proje Hazırlama Esasları* TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın No 122,135

Kılıç, M. Y., & Abuş, N. M. (2018). *Bahçeli Bir Konut Örneğinde Yağmur Suyu Hasadı*, Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa

Bayar, E**.** (2006). *Karabük İlinde Yağış Sularının Depolanarak Değerlendirilmesinde Maliyet Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Kara Elmas Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Zonguldak

Eren B., Aygün A., Likos S., & Damar İ. A**.** (2016). *Yağmur Suyu Hasadı: Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü Potansiyelinin Değerlendirilmesi*., Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi.

URL-1. (2019). *Bursa gaz'a yeşil bina sertifikası.*http://www.milliyet.com.tr/bursagaz-a-yesil-bina-sertifikasi-bursa-yerelhaber-1991153/ [Erişim: 21.09 2019].

URL-2. (2019). https://www.mgm.gov.tr/ veri değerlendirme /il istatistik.= RİZE [Erişim: 22 09 2019].

URL-3. (2019). *Yağmur suyu filtreleme ve depolama sistemi.* http://www.sfr.com.tr/yagmur-suyu-hasati-s6.html [Erişim: 22 09 2019].

URL-4**. (**2019) Su Tema https://sutema.org/gelecegin-suyu/cati-suyu-hasadi.19.aspx [Erişim: 21.09.2019].

URL-5. (2019) *Rize Belediyesi Su ve Kanalizasyon İşleri Müdürlüğü* http://www.rize.bel.tr/ [ Erişim 28.09.19].

# INVESTING THE EFFICIENCY OF GENERATING ENERGY USING SOLAR WIND TECHNOLOGY

Mohammed QADDOORI HAMMOODI
University of Gaziantep, Aircraft and space science engineering
qaddormohammed@gmail.com

Sohayb ABDULKERIM
University of Gaziantep, Aircraft and space science engineering
karim@gantep.edu.tr

**ABSTRACT**: In this research, an attempt to investigate the possibility of converting the solar energy into electricity using Solar Updraft Tower SUT, also called solar wind or solar chimney plants. Literature showed that it is attracting interest in off-grid desert locations where conventional photovoltaic technology faces some difficulties due to dust and the lack of water for cooling or cleaning the panels. In addition, other advantages come from the fact that SUT are fueled by hot air rather than direct sunlight, which means it has the capability to generate power in the night since the components or ground surface are stored thermal energy during the daylight. The working principle depends on the fact that sunlight penetrates the semi-transparent wall, hence the solar radiation is converted to heat due to the greenhouse effect and air flows upwards the chimney. This continuous airflow spins a vertical axis turbine located at the top and at the smallest cross-section of the chimney. The nighttime difference in temperature between the ground and the air allows this effect to continue. In order to experiments the feasibility of SUT, a small scale prototype has been designed and then manufactured at an in-house workshop using low-cost material. The dimensions of the tower were semi pyramid 60x20x100. At the top of the tower, a vertical axis turbine was installed and connected directly to a DC generator. The power of the generator was 100 Watts. Measurements have been conducted in order to evaluate the productivity and the efficiency compared to the capital and the operating costs. The initial results have shown a promising technique with respect to the simplicity of the technique and ot its low costs and its superiority to its competitive in some circumstances.

**Key words:** Solar Power, Vertical axis wind turbine, chimney

# CRITICAL THICKNESS CALCLATION OF A SLAB REACTOR FOR TRIPLET ANISOTROPIC SCATTERING

Halide KÖKLÜ, Gaziantep University, koklu@gantep.edu.tr

Okan ÖZER, Gaziantep University, ozer@gantep.edu.tr

**ABSTRACT**: Critical thickness is calculated for triplet anisotropic scattering in plane geometry one-speed neutron transport equation. The value of the critical slab thickness is investigated numerically by using the $P_N$ method of the first type Legendre polynomial and also second type of the Chebyshev polynomial $U_N$ methods. The eigenfunctions, normalization and orthogonally relations are used to derive for this type of scattering of critical thickness values. By making this calculation the well-known Mark boundary condition is used for this method. As a difference from previous studies, the scattering function is expanded to $f_3$ that is the tetra anisotropic scattering term. So, the critical thickness results are found for corresponding different secondary neutron number (c) in tetra anisotropic scattering. It is shown that our results are in agreement with the existing literature.

**Key words:** Critical Thickness, Neutron Transport Theory, Chebyshev Polynomials

## INTRODUCTION

The neutron transport equation is the general form of the describing the behavior of the neutrons in a reactor core. The equation includes position, velocity and time variables with seven unknown parameter. For this reason some approximations are assumed and the steady-state neutron transport equation for one speed plane system can be written as (R, 1979),

$$\mu \frac{\partial \psi(x,\mu)}{\partial x} + \psi(x,\mu) = \frac{c}{2}\int_{-1}^{1} f(\mu,\mu')\psi(x,\mu')\,d\mu' \tag{1}$$

where $\mu'$ is the direction of the scattering, $f(\mu,\mu')$ is the scattering function and defines the scattering probability of neutrons, $\psi(x,\mu)$ is the number of the neutrons at position x- and direction $\mu$ with distance measured in units of mean free path (mfp), c is the number of secondary neutrons per collision related with the material cross sections by the equation $c\sigma_t = \upsilon\sigma_f + \sigma_s$. Here $\sigma_f$ is the fission cross section and $\sigma_s$ is the scattering cross section, $\upsilon$ is the number of neutrons per fission. The distance

measured for neutrons is in units of total mean free path, "mfp". The scattering function in Eq. (1) is expanded with the Legendre polynomials (Mika, 1961) as

$$f\left(\mu,\mu'\right)=\sum_{n=0}^{N}(2n+1)\,f_n P_n(\mu)P_n(\mu') \tag{2}$$

where $P_n(\mu)$ and $P_n(\mu')$ are Legendre polynomials and $f_n$ is the scattering coefficient. The scattering function defines the probability of scattering then the sum of these scatterings must equal to one. Therefore the interval values of $f_n$ must be determined for every scattering situation.

The reactor core critical thickness calculations are very complicated for real media and very hard to solve in neutron transport equation. By making this calculation for triplet anisotropic scattering, we have taken into account more scattering probabilities.

## $P_N$ SOLUTION OF THE NEUTRON TRANSPORT EQUATION FOR TRIPLET ANISOTROPIC SCATTERING

The series expansion of the scattering function given in Eq. (2) for triplet anisotropic scattering can be written as,

$$f\left(\mu,\mu'\right)=f_0P_0(\mu)P_0(\mu')+3f_1P_1(\mu)P_1(\mu')+5f_2P_2(\mu)P_2(\mu')+7f_3P_3(\mu)P_3(\mu') \tag{3}$$

Legendre moments of the flux is defined as (Sahni D C, 1995)

$$\phi_n(x)=\int_{-1}^{1}P_n(\mu')\psi(x,\mu')d\mu' \tag{4}$$

If the scattering function in Eq. (3) is defined in Eq. (1) with the definition of the Legendre moments,

$$\mu\frac{\partial\psi(x,\mu)}{\partial x}+\psi(x,\mu)=\frac{c}{2}\left[P_0(\mu)\,f_0\phi_0(x)+3P_1(\mu)\,f_1\phi_1(x)+5P_2(\mu)\,f_2\phi_2(x)+7P_3(\mu)\,f_3\phi_3(x)\right] \tag{5}$$

The angular flux can be expanded in terms of the Legendre polynomials (Lewis EE, 1984)

$$\psi\left(x,\mu\right)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{2n+1}{2}\phi_n(x)P_n(\mu) \tag{6}$$

One can insert the Eq. (6) into Eq. (5) by multiplying the resulting equation with $P_m(\mu)$ and integrating over $\mu\in\left(-1,1\right)$. The recursion relation

$$\mu P_n\left(\mu\right)=\frac{1}{2n+1}\left[\left(n+1\right)P_{n+1}(\mu)+nP_{n-1}(\mu)\right] \tag{7}$$

and the orthogonality of the Legendre polynomials

$$\int_{-1}^{1} P_m(x)P_n(x)dx = \begin{cases} 0 & m \neq n \\ \dfrac{2}{2n+1} & m = n \end{cases} \tag{8}$$

are used in this application (F,1967): After some algebra, one can obtain the moments $\phi_n(x)$ in general form as

$$\begin{aligned} &(n+1)\frac{d\phi_{n+1}(x)}{dx} + n\frac{d\phi_{n-1}(x)}{dx} + (2n+1)(1 - cf_n\delta_{n0} + cf_n\delta_{n1} + cf_n\delta_{n2} \\ &+cf_n\delta_{n3})\phi_n(x) = 0, \qquad n = 0,1,2,....,N \end{aligned} \tag{9}$$

The kronecker delta is defined as $\delta_{nm} = \begin{cases} 1, & n = m \\ 0, & n \neq m \end{cases}$ A well-known ansatz for the solutions of Eq. (9) is employed of the form (Davison & Sykes, 1957),

$$\phi_n(x) = A_n(v)e^{-\sigma_t x/v} \tag{10}$$

where $A_n$ is the eigenfunctions corresponding to $v$ eigenvalues. We represent a method and corresponding computer code to get all eigenvalues for tetra anisotropic scattering. Using Eq. (10) in Eq. (9), a system of equations is obtained for the analytic expressions of $A_n(v)$

$$A_1(v) = vA_0(v)(1 - cf_0) \tag{11}$$

$$A_2(v) = \frac{3vA_1(v)(1 - cf_1) - A_0(v)}{2} \tag{12}$$

$$A_3(v) = \frac{5vA_2(v)(1 - cf_2) - 2A_1(v)}{3} \tag{13}$$

$$A_4(v) = \frac{7vA_3(v)(1 - cf_3) - 3A_2(v)}{4} \tag{14}$$

The general form of Eq. (11-14) may be given by

$$\begin{aligned} &(n+1)A_{n+1}(v) + nA_{n-1}(v) + (2n+1)(1 - cf_n\delta_{n0} + cf_n\delta_{n1} + cf_n\delta_{n2} \\ &+cf_n\delta_{n3})vA_n(v) = 0, \qquad n = 0,1,2,...,N \end{aligned} \tag{15}$$

As shown in Eq. (15) the analytical solution of the $A_n(v)$ gives the eigenvalues by solving $A_{n+1}(v) = 0$, for any c. The discrete eigenvalues $v_k$ and eigenfunctions of the neutron flux are included in the equation of criticality. If c is equal 1, one pair of roots is imaginary (±∞i), other pairs are in the range [-1, +1]. If c is between 0 and 1, all roots are imaginary but one pair of them is greater than 1. If c is greater than 1, one pair of roots are pure imaginary, and the other pairs are in the range [-1, +1]. After determining the discrete eigenvalues $v_k$ the general solution of the flux moments in the Eq. (15) can be written for odd numbers of N

$$\phi_n(x) = \sum_{k=1}^{\frac{N+1}{2}} \beta_k A_n(v_k)\left[ e^{\sigma_t x/v_k} + (-1)^n e^{-\sigma_t x/v_k} \right] \qquad (N+1)/2 < k \le (N+1) \quad (16)$$

where $\beta_k$ are the coefficients comes from the linear combinations of the solutions corresponding to each $v_k$ eigenvalues, and they are determined from the boundary conditions of the system using the parity relation of $A_n(-v) = (-1)^n A_n(v)$. Therefore, the general solution to Eq. (1) for the neutron angular flux can be found by replacing the flux moments Eq. (16) into Eq. (6),

$$\psi(x,\mu) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=1}^{\frac{N+1}{2}} \frac{2n+1}{2} \beta_k A_n(v_k)\left[ \left(1+(-1)^n\right)\cosh(\frac{\sigma_t x}{v_k}) + \left(1-(-1)^n\right)\sinh(\frac{\sigma_t x}{v_k}) \right] P_n(\mu) \quad (17)$$

## $U_N$ SOLUTION OF THE NEUTRON TRANSPORT EQUATION FOR TRIPLET ANISOTROPİC SCATTERING

Starting with the flux function in $U_n$ is shown as (Öztürk, 2011)

$$\psi(x,\mu) = \frac{2}{\pi}\sqrt{1-\mu^2} \sum_{n=0}^{N} \phi_n(x) U_n(\mu) \qquad (18)$$

Substituting Eq.(18) and then Eq.(3) into Eq.(1), and using the repetition correlation of the Type II Chebyshev polynomials $2\mu U_n(\mu) = U_{n+1}(\mu) + U_{n-1}(\mu)$ and the orthogonally relation $\int_{-1}^{1} U_m(\mu) U_n(\mu)(1-\mu^2)^{1/2} d\mu = \begin{cases} 0, & m \ne n \\ \pi/2, & m = n \end{cases}$ are used.

$$\frac{\sqrt{1-\mu^2}}{\pi} \sum_{n=0}^{N} \frac{d\phi_n(x)}{dx} U_{n+1}(\mu) + \frac{\sqrt{1-\mu^2}}{\pi} \sum_{n=0}^{N} \frac{d\phi_n(x)}{dx} U_{n-1}(\mu) + \frac{2}{\pi}\sqrt{1-\mu^2} \sum_{n=0}^{N} \phi_n(x) U_n(\mu)$$
$$= \frac{c}{2}\int_{-1}^{1} \left( f_0 P_0(\mu) P_0(\mu') + 3 f_1 P_1(\mu) P_1(\mu') + 5 f_2 P_2(\mu) P_2(\mu') + 7 f_3 P_3(\mu) P_3(\mu') \right) \left( \frac{2}{\pi}\sqrt{1-\mu^2} \sum_{n=0}^{N} \phi_n(x) U_n(\mu) \right) d\mu'$$

(19)

Eq. (19) is multiplied with $U_m(\mu)$ and integrated between (-1, 1). The integrals are solved for the different n and m values, the orthogonally properties of the Type II Chebyshev polynomials are used for solving Eq. (19). One obtains

$$m=0,\qquad \frac{d\phi_1(x)}{dx}+2\phi_0(x)-2cf_0\phi_0(x)=0$$
$$m=1,\qquad \frac{d\phi_0(x)}{dx}+\frac{d\phi_2(x)}{dx}+2\phi_1(x)-2cf_1\phi_1(x)=0$$
$$m=2,\qquad \frac{d\phi_1(x)}{dx}+\frac{d\phi_3(x)}{dx}+2\phi_2(x)-\frac{2}{3}cf_0\phi_0(x)+\frac{2}{3}cf_2\phi_0(x)-2cf_2\phi_2(x)=0$$
$$m=3,\qquad \frac{d\phi_2(x)}{dx}+\frac{d\phi_4(x)}{dx}+2\phi_3(x)-\frac{4}{5}cf_1\phi_1(x)+\frac{4}{5}cf_3\phi_1(x)-2cf_3\phi_3(x)=0 \tag{20}$$

and it is so on. The solution of Eq. (20) can be found by a new proposal flux moment equation, as following

$$\phi_n(x)=G_n(v)\exp(x/v) \tag{21}$$

Replacing Eq. (21) into Eq. (20), the following results are found.

$$\begin{aligned}
G_1(v)&=-2vG_0(v)-2cvf_0G_0(v)\\
G_2(v)&=-2vG_1(v)-G_0(v)+2cvf_1G_1(v)\\
G_3(v)&=-2vG_2(v)-G_1(v)+\frac{2}{3}cvf_0G_0(v)-\frac{2}{3}cvf_2G_0(v)+2cvf_2G_2(v)\\
G_4(v)&=-2vG_3(v)-G_2(v)+\frac{4}{5}cvf_1G_1(v)-\frac{4}{5}cvf_3G_1(v)+2cvf_3G_3(v)
\end{aligned} \tag{22}$$

As a result, by using the eigenvalues $v_k$, a general expression for the flux moment can be written as,

$$\phi_n(x)=\sum_{k=1}^{N+1/2}\beta_kG_n(v_k)\left[\exp(\sigma_t x/v_k)+(-1)^n\exp(-\sigma_t x/v_k)\right]\qquad n=1,2,3,,,,,N \tag{23}$$

The Eq. (23) is substituted into Eqn. (18). So the resultant equation is obtained as,

$$\psi(x,\mu)=\frac{2}{\pi}\sqrt{1-\mu^2}\sum_{n=0}^{N}\sum_{k=1}^{N+1/2}\beta_kG_n(v_k)\left[\left(1+(-1)^n\right)\cosh(\frac{x}{v})+\left(1-(-1)^n\right)\sinh(\frac{x}{v})\right]U_n(\mu_k) \tag{24}$$

## CRITICALITY CONDITIONS

The aim in criticality problem is to solve the equation of transport related with the number of secondary neutrons "c". In this study eigenvalues corresponding to the case c > 1 are used. Eq. (17) shows that neutron flux expression obtained by $P_N$ method. Half slab thickness is obtained by applying Mark boundary condition to the Eq. (17). Mark maintains the continuity of neutron flux along the boundaries encircled in a vacuum. He used the idea of continuity of the angular flux, and for the special values of μ. It is showed that the angular flux from the boundary is equal to zero. Here, Mark-type boundary condition is used (Yaşa, Anli, & Güngör, 2006)

$$\psi(a,\mu_m)=0,\qquad 1\le m\le(N+1)/2 \tag{25}$$

Here, $\mu_m$ is the root of the Legendre polynomials that can be found from $P_{N+1}(\mu_m)=0$ . Then, the criticality equation can be obtained by using Eq. (18) in the Mark boundary condition given in Eq. (25)

$$\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{m,k=1}^{\frac{N+1}{2}}\frac{2n+1}{2}\beta_k A_n(v_k)\left[\left(1+(-1)^n\right)\cosh(\frac{\sigma_t a}{v_k})+\left(1-(-1)^n\right)\sinh(\frac{\sigma_t a}{v_k})\right]P_n(\mu_m)=0 \qquad (26)$$

Eq. (25) can also be written in a matrix form as $\left[M_m^k(a)\right]\mathrm{B_k}=\left[0\right]$, where $\mathrm{B_k}$ is a vector with elements $\beta_k$ and $\left[M_m^k(a)\right]$is a square matrix with elements$\left[(N+1)/2\right]^2$. The determinant of $\left[M_m^k(a)\right]$ must be equal to zero for the criticality condition for a non-trivial solution of Eq. (26).

By applying same procedure for $P_N$ method the critical thickness equation can be obtained for $U_N$ method.

## NUMERICAL RESULTS

We can calculate the critical thickness by using Eq. (26) for Mark boundary condition. The neutron transport equation with triplet anisotropic scattering has three scattering terms. It means that three different scattering coefficients must have been added to general transport equation. The maximum value of the literature study are used for the linear, quadratic and triplet anisotropic scattering coefficients ($f_1$=0.3, $f_2$=0.2 and $f_3$=0.142 respectively) (Yildiz, 1998, Rashis,2013).

It is seen from the Table 1., the critical thickness results of $P_N$ method for changing number of secondary neutrons "c" show that the critical thickness decreases with increasing c values, as expected. Then the critical thickness values are tabulated with fixed c values for isotropic, linear, quadratic pure quadratic, triplet, and pure triplet anisotropic scattering types. So the changing in critical thickness is observed from the Tables 2,3,4,5 (1.01, 1.1, 1.5, and 2.0 respectively). Legendre polynomial solutions are solved up to thirteenth order, however the convergence is observed up to three digits in the results. In literature, slab critical thickness solutions are done for strongly anisotropic scattering by C. Yıldız (1998). In his study, the solutions have been done up to fifteenth order with $P_N$ method, and the convergence was obtained up to three digits. ; In Table 6 the critical thickness values are tabulated for $U_N$ method. In Table 7 four different scattering types are showed for fixed and changing c values with $U_N$ method.

In literature, the solutions of the critical thickness for neutron transport equation are done in plane geometry for triplet anisotropic scattering with $F_N$ method by G. Türeci (Türeci, 2015) (as shown in Table 8). We compared pure triplet anisotropic critical thickness values of our calculations with the literature study done by G. Türeci in order to see the compatibility of our method. To obtain the critical thickness values as shown in Table 8, the peak order of $P_{13}$ in our results and the peak order of $F_3$ in G. Türeci results were used.

**Table 1. Critical half-thickness for triplet anisotropic scattering in $P_N$ method**

| c | $P_1$ | $P_3$ | $P_5$ | $P_7$ | $P_9$ | $P_{11}$ | $P_{13}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.01 | 10.0384 | 9.82526 | 9.81031 | 9.80604 | 9.80423 | 9.80329 | 9.80222 |
| 1.05 | 4.07718 | 3.83286 | 3.81531 | 3.81064 | 3.80868 | 3.80767 | 3.80709 |
| 1.10 | 2.68134 | 2.43080 | 2.40904 | 2.40381 | 2.40166 | 2.40057 | 2.39994 |
| 1.20 | 1.71227 | 1.47377 | 1.44256 | 1.43586 | 1.43331 | 1.43203 | 1.43130 |
| 1.40 | 1.05213 | 0.852709 | 0.809563 | 0.798604 | 0.794817 | 0.793103 | 0.792162 |
| 1.60 | 0.774859 | 0.607738 | 0.562009 | 0.547607 | 0.542141 | 0.539718 | 0.538471 |
| 1.80 | 0.61747 | 0.474534 | 0.430248 | 0.414186 | 0.407336 | 0.404099 | 0.402421 |
| 2.00 | 0.51481 | 0.39021 | 0.34864 | 0.33215 | 0.32447 | 0.32055 | 0.31843 |

**Table 2. Critical half-thickness for different scattering types for c=1.01**

| Scattering types | $P_1$ | $P_3$ | $P_5$ | $P_7$ | $P_9$ | $P_{11}$ | $P_{13}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Isotropic | 8.49356 | 8.34635 | 8.33616 | 8.33309 | 8.33175 | 8.33104 | 8.33064 |
| Lin.ans. | 10.0384 | 9.83575 | 9.82133 | 9.81695 | 9.81505 | 9.81404 | 9.81297 |
| Pure quadratic | 8.49356 | 8.34750 | 8.32548 | 8.32258 | 8.32133 | 8.32068 | 8.32032 |
| Quadratic | 10.0384 | 9.82195 | 9.80846 | 9.80378 | 9.80201 | 9.80109 | 9.80012 |
| Pure triplet | 8.49356 | 8.34868 | 8.33784 | 8.33466 | 8.33329 | 8.33257 | 8.33214 |
| Triplet | 10.0384 | 9.82526 | 9.81031 | 9.80604 | 9.80423 | 9.80329 | 9.80222 |

**Table 3. Critical half-thickness for different scattering types for c=1.1**

| Scattering types | $P_1$ | $P_3$ | $P_5$ | $P_7$ | $P_9$ | $P_{11}$ | $P_{13}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Isotropic | 2.30869 | 2.13534 | 2.12100 | 2.11734 | 2.11580 | 2.11501 | 2.11454 |
| Lin.ans. | 2.68134 | 2.44941 | 2.43108 | 2.42613 | 2.42402 | 2.42292 | 2.42227 |
| Pure quadratic | 2.30869 | 2.11492 | 2.09910 | 2.09586 | 2.09383 | 2.09305 | 2.09260 |
| Quadratic | 2.68134 | 2.42299 | 2.40329 | 2.39831 | 2.39624 | 2.39517 | 2.39455 |
| Pure triplet | 2.30869 | 2.14065 | 2.12481 | 2.12097 | 2.11938 | 2.11857 | 2.11809 |
| Triplet | 2.68134 | 2.43080 | 2.40904 | 2.40381 | 2.40166 | 2.40057 | 2.39994 |

**Table 4. Critical half-thickness for different scattering types for c=1.5**

| Scattering types | $P_1$ | $P_3$ | $P_5$ | $P_7$ | $P_9$ | $P_{11}$ | $P_{13}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Isotropic | 0.78001 | 0.64949 | 0.62089 | 0.61223 | 0.60904 | 0.60762 | 0.60686 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lin.ans. | 0.89092 | 0.71651 | 0.68261 | 0.67284 | 0.66925 | 0.66759 | 0.66689 |
| Pure quadratic | 0.78001 | 0.63423 | 0.59956 | 0.58880 | 0.58483 | 0.58311 | 0.58222 |
| Quadratic | 0.89092 | 0.69594 | 0.65485 | 0.64278 | 0.63840 | 0.63646 | 0.63544 |
| Pure triplet | 0.78001 | 0.65802 | 0.62654 | 0.61727 | 0.61389 | 0.61240 | 0.61161 |
| Triplet | 0.89092 | 0.70879 | 0.66356 | 0.65065 | 0.64603 | 0.64399 | 0.64292 |

**Table 5**. **Critical half-thickness for different scattering types for c=2.0**

| **Scattering types** | **$P_1$** | **$P_3$** | **$P_5$** | **$P_7$** | **$P_9$** | **$P_{11}$** | **$P_{13}$** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Isotropic | 0.45343 | 0.36197 | 0.33477 | 0.32350 | 0.31817 | 0.31545 | 0.31396 |
| Lin.ans. | 0.51481 | 0.39320 | 0.36065 | 0.34775 | 0.34184 | 0.33887 | 0.33728 |
| Pure quadratic | 0.45345 | 0.35219 | 0.32014 | 0.30656 | 0.29993 | 0.29647 | 0.29455 |
| Quadratic | 0.51481 | 0.38020 | 0.34204 | 0.32651 | 0.31919 | 0.31543 | 0.31338 |
| Pure triplet | 0.45345 | 0.36889 | 0.33939 | 0.32745 | 0.32186 | 0.31902 | 0.31748 |
| Triplet | 0.51481 | 0.39021 | 0.34864 | 0.33215 | 0.32447 | 0.32055 | 0.31843 |

**Table 6**. Critical thickness for tetra anisotropic in $U_N$ method

| **c** | **$U_1$** | **$U_3$** | **$U_5$** | **$U_7$** | **$U_9$** | **$U_{11}$** | **$U_{13}$** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.01 | 8.69353 | 9.83803 | 9.80774 | 9.80570 | 9.80387 | 9.80316 | 9.80021 |
| 1.05 | 3.53097 | 3.84589 | 3.81216 | 3.81029 | 3.80830 | 3.80753 | 3.78888 |
| 1.1 | 2.32211 | 2.44054 | 2.40531 | 2.40346 | 2.40124 | 2.40042 | 2.39980 |
| 1.2 | 1.48287 | 1.47617 | 1.43793 | 1.43548 | 1.43280 | 1.43185 | 1.43115 |
| 1.4 | 0.911174 | 0.846959 | 0.803447 | 0.797894 | 0.79412 | 0.79288 | 0.79201 |
| 1.6 | 0.671047 | 0.599463 | 0.555151 | 0.546368 | 0.54118 | 0.53941 | 0.53833 |
| 1.8 | 0.534744 | 0.465747 | 0.423289 | 0.412533 | 0.40612 | 0.40366 | 0.40227 |
| 2.0 | 0.445836 | 0.381598 | 0.341897 | 0.33064 | 0.32306 | 0.31999 | 0.31825 |

**Table 7. Critical thickness for different scattering types in $U_N$ method**

| **c** | **Scattering types** | **$U_1$** | **$U_3$** | **$U_5$** | **$U_7$** | **$U_9$** | **$U_{11}$** | **$U_{13}$** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.01 | Isotropic | 7.35564 | 8.35915 | 8.33360 | 8.33306 | 8.33139 | | 8.33044 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lin.ans. | 8.69353 | 9.84411 | 9.81891 | 9.81654 | 9.81469 | 9.81389 | 9.81181 |
| | Pure quadratic | 7.35564 | 8.34963 | 8.32294 | 8.32257 | 8.32099 | 8.32064 | 8.32006 |
| | Quadratic | 8.69353 | 9.83133 | 9.80561 | 9.80339 | 9.80169 | 9.80094 | 9.79827 |
| | Pure triplet | 7.35564 | 8.36457 | 8.33504 | 8.33467 | 8.33290 | 8.33252 | 8.33192 |
| | Triplet | 8.69353 | 9.83803 | 9.80774 | 9.80570 | 9.80387 | 9.80316 | 9.80021 |
| 1.1 | Isotropic | 1.99938 | 2.14732 | 2.11715 | 2.11744 | 2.11537 | 2.11495 | 2.11441 |
| | Lin.ans. | 2.32211 | 2.45596 | 2.42788 | 2.42571 | 2.42363 | 2.42275 | 2.42215 |
| | Pure quadratic | 1.99938 | 2.14732 | 2.09947 | 2.09548 | 2.09340 | 2.09300 | 2.09248 |
| | Quadratic | 2.32211 | 2.42298 | 2.400006 | 2.39788 | 2.39587 | 2.39500 | 2.39444 |
| | Pure triplet | 1.99938 | 2.1555 | 2.13050 | 2.12115 | 2.11891 | 2.11853 | 2.11795 |
| | Triplet | 2.32211 | 2.44054 | 2.40531 | 2.40346 | 2.40124 | 2.40042 | 2.39980 |
| 1.5 | Isotropic | 0.675511 | 0.649014 | 0.614898 | 0.612239 | 0.608157 | 0.60759 | 0.60663 |
| | Lin.ans. | 0.771558 | 0.709976 | 0.677860 | 0.671952 | 0.668670 | 0.66733 | 0.66653 |
| | Pure quadratic | 0.675511 | 0.631454 | 0.592975 | 0.58851 | 0.58386 | 0.58303 | 0.58197 |
| | Quadratic | 0.771558 | 0.686091 | 0.649633 | 0.641482 | 0.637795 | 0.63613 | 0.63528 |
| | Pure triplet | 0.675511 | 0.659725 | 0.619508 | 0.61753 | 0.61284 | 0.61242 | 0.61137 |
| | Triplet | 0.771558 | 0.701373 | 0.656974 | 0.649678 | 0.645208 | 0.64373 | 0.64277 |
| 2.0 | Isotropic | 0.392699 | 0.358758 | 0.329089 | 0.322756 | 0.316880 | 0.31525 | 0.31357 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lin.ans. | 0.445836 | 0.385204 | 0.355760 | 0.346055 | 0.340912 | 0.33836 | 0.33704 |
| Pure quadratic | 0.392699 | 0.346906 | 0.314049 | 0.30528 | 0.29848 | 0.29611 | 0.29410 |
| Quadratic | 0.445836 | 0.369567 | 0.336717 | 0.324224 | 0.318115 | 0.31473 | 0.31310 |
| Pure triplet | 0.392699 | 0.367502 | 0.332642 | 0.32703 | 0.32031 | 0.31893 | 0.31712 |
| Triplet | 0.445836 | 0.381598 | 0.341897 | 0.330261 | 0.323061 | 0.31999 | 0.31824 |

**Table 8. Critical 2a Thickness for Pure Triplet Anisotropic Scattering**

| c | $P_N$ Method | $U_N$ Method | R. G. Türeci [19] |
|---|---|---|---|
| 1.1 | 4.23866 | 4.237817 | 4.2430863 |
| 1.3 | 1.891516 | 1.890154 | 1.8924836 |
| 1.5 | 1.227636 | 1.225680 | 1.2252848 |
| 1.7 | 0.90406 | 0.901579 | 0.8986480 |
| 2.0 | 0.643614 | 0.640628 | 0.6322023 |

## CONCLUSION

In this study, we examine the critical half-thickness of the slab by changing scattering types with $P_N$ and $U_N$ method. We have been seeking an answer for the question what are the effects of anisotropic scattering on the critical thickness. In previous studies, this effect was investigated for each scattering type individually. In contradistinction, this study presents the results from isotropic to triplet anisotropic scattering calculations that are applied simultaneously. Comprehensive and comparative results of all scattering types provided in this study, offers a good source for further studies and researches.

We have extended the neutron scattering function up to $f_3$, called as triplet anisotropic scattering. It is quite difficult to obtain the analytical solutions for this kind of scattering. When the number of terms in scattering function is increased, the equation becomes more complicated. In this study, finding the eigenvalues of the neutron transport equation was the first step. Then they are substituted into neutron flux equation to obtain the critical thickness by using a computer code. The thickness required for the criticality depends on the scattering parameters in the solutions. In our solutions, the Legendre polynomials are used since it provides suitable and rapid direct results. The critical half-thickness of the uniform-medium slab for one-energy

group with triplet anisotropic scattering is computed by using the well-known and widely used boundary conditions which is Mark boundary condition. The critical thickness decreases by increasing the number of secondary neutrons c as expected. The deviation between each scattering coefficients is getting smaller by increasing the order of anisotropic scattering. Hence, critical thickness results are converging which means less difference between the values of each next orders scattering results.

**REFERENCES**

Case K M and Zweifel P F, (1967) Linear *Transport Theory*, New York: Addison Wesley.

Davison, B., & Sykes, J. B. (1957). Neutron Transport Theory. *Zeitschrift Fur Naturforschung - Section A Journal of Physical Sciences*. https://doi.org/10.1515/zna-1957-1219

Duderstadt, J. J., & Martin, W. R. (1979). *Transport theory* New York: Addison Wesley

Lewis EE, M. W. (Wiley/ N. Y. (1984). *Computational methods of neutron transport*. Wiley/ New York.

Mika, J. (1961). Neutron transport with anisotropic scattering. *Nucl. Sci. and Engineering*, *11*, 415.

Öztürk, H. (2011). Modified UNmethod for the reflected critical slab problem with forward and backward scattering. *Kerntechnik*. https://doi.org/10.3139/124.110126

Rashis, P. A. H., (2013)"Investigation of the solution by using $P_N$ method of transport equation for triplet anisotropic scatterıng" Ms Thesis, Publication of Kahramanmaraş of Sütçü Imam University, Kahramanmaraş, , 35-50 .

Sahni D C, D. E. B. and S. N. G. (1995). Real criticality eigenvalues of the one-speed linear transport operator. *Transp. Theory Statist. Phys*, *24*, 1295–1317.

Türeci, R. G. (2015). Solving the criticality problem with the reflected boundary condition for the triplet anisotropic scattering with the modified FNmethod. *Kerntechnik*.

Yaşa, F., Anli, F., & Güngör, S. (2006). Eigenvalue spectrum with chebyshev polynomial approximation of the transport equation in slab geometry. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2004.12.017

Yildiz, C. (1998). Variation of the critical slab thickness with the degree of strongly anisotropic scattering in one-speed neutron transport theory. *Annals of Nuclear Energy*. https://doi.org/10.1016/S0306-4549(97)00114-X.

# DETERMINATION OF STIFFNESS PARAMETERS IN FINITE ELEMENT ANALYSIS OF INTERFERENCE FIT

Fatih GÜVEN

Akdeniz University, Mechanical Engineering Department, Antalya, Turkey

fatihguven@akdeniz.edu.tr

**ABSTRACT**: Shrink fit is one of the joining methods used for torque transmission between a shaft and a hub. In this joining method, the outside diameter of shaft is slightly greater than the inner diameter of hub. After mounting of parts, a contact pressure originates between contacting surfaces. The pressure is the basis of torque transmission that results in a frictional force resisting against relative movement of parts. This kind of joints have a non-linear problems because of the friction and deformation of surfaces in contact. The pressure could be computed theoretically via thick walled vessel formulations. Another solution is finite element analysis that utilizes the penalty method and the augmented Lagrange method. In this method, contact parameters should be carefully specified to get contact pressure between mating surfaces correctly. Contact stiffness is one of the important parameters that affect the accuracy of solution. Another important parameter is the size of elements used to constitute finite element model. In this study, a sample shrink fitted assembly with specified dimension and Young's modulus was considered to investigate effect of contact parameters on contact pressure distribution. Contact stiffness value and size of elements were considered to examine their effects on contact pressure. Results showed that the smaller the elements, the smaller the contact stiffness. Elements size should be specified according to contact stiffness that should have a value between 0.1 and 1.0 in order to balance accuracy of solution and time required.

**Key words:** Contact stiffness, Lagrange, Penalty method, FEA

# SIKI GEÇME BAĞLANTILARIN SONLU ELEMANLAR ANALİZİNDE KATILIK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

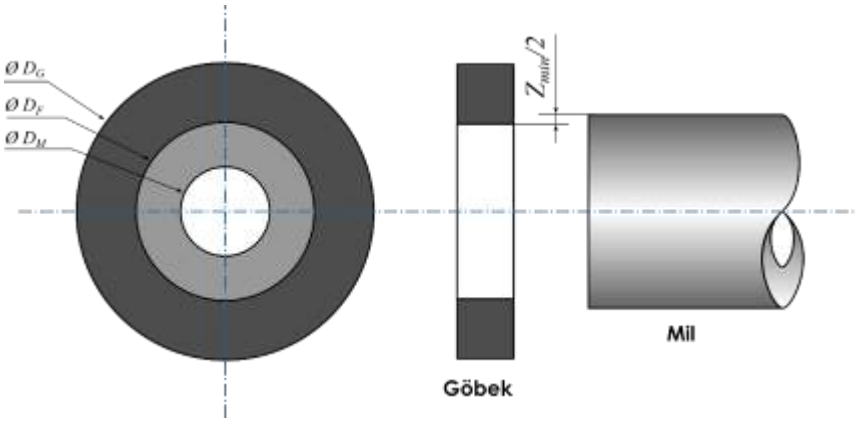
**ÖZET:** Sıkı geçme bağlantılar mil ve göbek arasında moment iletiminde kullanılan bağlantı şekillerindendir. Milin boyutunun göbek deliğinden büyük olmasından dolayı yapılan montaj sonunda temas yüzeylerinde bir basınç meydana gelmektedir. Oluşan bu basınç moment iletiminin temelidir. Sıkı geçme bağlantılar, temas mekaniğinde sürtünmeye dayalı temas koşullarından dolayı doğrusal olmayan çözüm gerektirmektedir. Teorik hesaplamaları kalın cidarlı tüpler teorisine dayanmaktadır.

Sonlu elemanlar çözümlerinde penaltı yöntemi veya genişletilmiş Lagrange yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde temas basıncının doğru bir şekilde elde edilebilmesi için temas değişkenlerinin doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Temas eden yüzeylerin katılık değeri çözümün doğruluğu açısından son derece önem arz etmektedir. Bir diğer önemli husus ise kullanılan elemanların boyutudur. Bu çalışma kapsamında örnek bir sıkı geçme bağlantının sonlu elemanlar yöntemi ile temas basıncı analizleri yapılmıştır. Temas eden elemanlardaki değişkenler ile elastik direnç değerinin temas basıncı üzerinde etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ve değerlendirmeler sonucunda Genişletilmiş Lagrange yönteminde eleman boyutu küçüldükçe seçilmesi gereken temas katılığı değerlerinin de küçüldüğü görülmüştür.

**Anahtar sözcükler:** FEA, Lagrange, Penaltı yöntemi, Temas katılığı

## GİRİŞ

Moment iletimi için kullanılan sıkı geçme mil-göbek bağlantıları, kalın cidarlı tüpler teorisine dayanarak Lame bağlantıları ile hesaplanmaktadır (Budynas ve Nisbett, 2006; Niemann, Winter ve Hoehn, 2005). Denklem (1)'de görülen bu hesap yöntemi standartlarda da kullanılmaktadır (DIN 7190-1:2017, 2017). Zhang vd. (2000) yaptığı çalışmanın sonuçlarını, sıkı geçme bağlantılarında temas basıncının temeli olarak görülen Lame bağlantıları ile elde bulduğu sonuçları kıyaslamış ve oluşan temas basıncının beklenenden %78 daha fazla olduğunu belirtmiştir. Bu önemli fark, Zhang vd.nin bu çalışmasında göbek cidar kalınlığının mil çapına oranının küçük olmasından kaynaklanmaktadır. İç basınca maruz kalan cidarlı kaplarda ince ve kalın cidarlı olarak hesaplamalar değişmektedir (Campos ve Hall, 2019). Bundan sonra sıkı geçme bağlantılar ifadesi sadece kalın cidarlı tüpler teorisine uyan mil-göbek bağlantılarını ifade etmekte kullanılacaktır. Şekil 1'de bir sıkı geçme bağlantıya ilişkin büyüklükler görülmektedir.




**Şekil 1. Sıkı geçme bağlantılarında boyutlar**

$$p = \frac{Z_{min}}{D_F\left[\frac{1}{E_G}\left(\frac{D_G^2 + D_F^2}{D_G^2\text{-}D_F^2} + \nu_G\right) + \frac{1}{E_M}\left(\frac{D_F^2 + D_M^2}{D_F^2\text{-}D_M^2}\text{-}\nu_M\right)\right]} \quad (1)$$

Bu denlmem aynı malzemeden imal edilmiş mil-göbek çiftinde milin dolu olduğu özel durum için $E_G = E_M = E$ olmak üzere Denklem (2)'deki hali almaktadır.

$$p = \frac{Z_{min}}{\frac{D_F}{E}\left(\frac{D_G^2 + D_F^2}{D_G^2\text{-}D_F^2}\right) + 1} \quad (2)$$

Yukarıdaki denklem temas uzunluğu boyunca temas basıncının değişmediğini kabul etmektedir. Ancak yapılan çalışmalar, sıkı geçme bağlantılarında temas basıncı, temas uzunluğunun merkezinden uçlarına doğru arttığı ve doğrusal olmadığı göstermiştir (Özel, Temiz, Aydin ve Şen, 2005).

Temas mekaniği doğrusal olmayan çözüm gerektirdiğinden çözümlemelerde sonlu elemanlar yönteminden faydalanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ile temas mekaniği problemi çözümlemelerinde kullanılan iki temel yaklaşım Penaltı yöntemi ve Lagrange çarpanları yöntemidir. Bu iki yöntem arasındaki fark Denklem (3)'de verilen toplam potansiyel enerji ifadesinde, temas elemanlarının potansiyel enerjisinin $\Pi_c$ çözümüne ilişkin yaklaşımdır.

$$\Pi = \Pi_b + \Pi_c = \frac{1}{2}\int_V \varepsilon^T \sigma dV\text{-}\int_S u^T F dS + \Pi_c \quad (3)$$

Potansiyel enerjisi sıfıra yaklaştırılması problemin çözümünü vermektedir. Dolayısıyla Denklem (3)'ün bilinmeyen yer değiştirme vektörü olan u'ya göre türevinin sıfıra eşitlenmesi ile Denklem (4) elde edilmektedir.

$$\delta\Pi = \delta\Pi_b + \delta\Pi_c = \frac{\partial(\Pi_b + \Pi_c)}{du}\delta u = 0 \quad (4)$$

Penaltı yaklaşımı ile elde edilen çözümler ekonomik yönüyle kabul görürken sayısal hatalar içerebilmektedir. Buna karşın Lagrange çarpanı yöntemi daha fazla çözüm zamanına ihtiyaç duymakla birlikle iyi sonuçlar vermektedir (Zahavi ve Barlam, 2000). Temas çözümlerine her iki yöntemin avantajlarından faydalanmak üzere genişletilmiş Lagrange çarpanı yöntemi kullanılmaktadır.

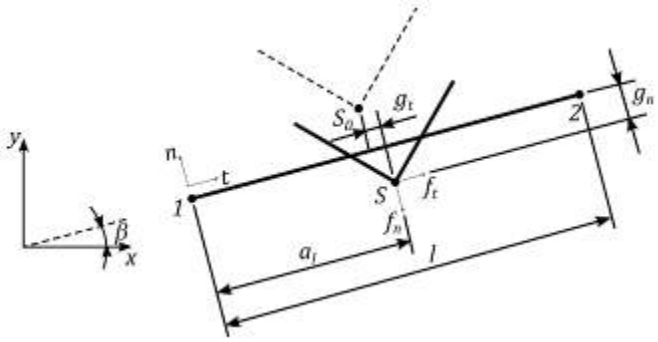
**Temas Problemlerinde Kullanılan Bağıntılar**

*Penaltı Yöntemi*

Bu yöntemde gerçekte olmamasına karşın temas eden elemanlar arasında hayali bir geçirgenlik olduğu varsayılır (Wriggers, Van ve Stein, 1990). Bu yönteme göre temas elemanlarının potansiyel enerji çözümünün birinci türevi alınarak Denklem (5) ile belirlenir.

$$\delta\Pi_c = f_n\delta g_n + f_t\delta g_t = k_n g_n \delta g_n + \mathrm{sgn}(g_t)\,\mu_d k_n g_n \delta g_t \qquad (5)$$

Bu ifadede $k_n$ ve $k_t$ sırasıyla normal ve teğetsel yöndeki penaltı değerini, $g_n$ ve $g_t$ yine sırasıyla normal ve teğetsel yöndeki geçirgenlik değerini ve $\mu_d$ dinamik sürtünme katsayısını ifade etmektedir.



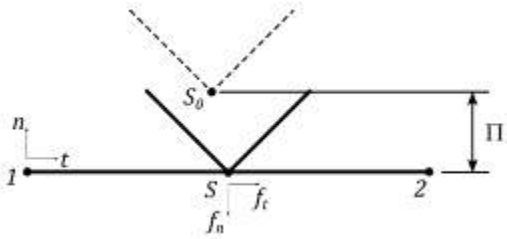

**Şekil 2. Penaltı yönteminde elamanlar ve önemli büyüklükler**

*Genişletilmiş Lagrange çarpanı yöntemi*

Bu yöntem Lagrange yöntemine penaltı fonksiyonunun eklenmesi ile geliştirilmiştir. Potansiyel enerjinin azaltılması için Denklem (6)'da görülen potansiyel enerji ifadesi sıfıra eşitlenir.

$$\Pi(u,\Lambda) = \Pi_b(u) + \Lambda^T g + \frac{1}{2} g^T k g \qquad (6)$$

Bu ifadede $\Lambda^T$, Lagrange çarpanı olarak karşımıza çıkmaktadır.




**Şekil 3. Lagrange yönteminde elamanlar ve önemli büyüklükler**

**Sonlu Elemanlar Yönteminde Temas Problemleri**

Sonlu elemanlar yönteminde normal doğrultudaki temas kuvveti $F_n$; $x_p$ bağımsız temas yüzeylerindeki iki düğüm arasındaki mesafe ve $k_n$ temas katılığı olmak üzere Denklem (7)'da verilmiştir.

$$F_n = k_n x_p \tag{7}$$

Temas katılığı artıkça geçirgenlik azalmaktadır. Temas katılığının sonsuz değeri için herhangi bir geçirgenlik olmamakla birlikte sayısal açıdan mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla $x_p$ nin küçük değerleri için doğru sonuçlar elde etmek mümkündür. Genişletişmiş Lagrange çarpanı yönteminde Denklem (7)'da verilen ifadeye Lagrange çarpanı λ eklenerek Denklem (8) elde edilmektedir. Bu çarpanın eklenmesinden dolayı genişletişmiş Lagrange çarpanı yöntemi temas katılığı değerine daha az hassasiyet göstermektedir.

$$F_n = k_n x_p + \lambda \tag{8}$$

Rijit cisimlerin teması incelenirken penaltı yöntemi önerilirken, diğer temas türlerinde genişletişmiş Lagrange çarpanı yönteminin kullanılması daha uygundur. Ağ yapısının aşırı bozunumu iterasyon sayısının artmasına neden olmaktadır. Çok noktalı koşul (MPC) yöntemi birleşik veya ayrılmaz yapıdaki temas durumu için uygun bir seçimdir. Sonlu elemanlar yönteminde başarılı sonuçlar elde edilebilmesi için doğrusal olmayan temas problemlerinde temas katılığı, geçirgenlik toleransı gibi temas algoritmasına ilişkin değerlerin belirlenmesi gerekmektedir. Penaltı yöntemi ve Genişletilmiş Lagrange yöntemi kıyaslandığından penaltı yöntemi iyi bir yakınsama sunarken seçilen temas katlığı değerine çok hassastır. Genişletilmiş Lagrange yöntemi geçirgenliğin fazla olduğu durumlarda daha fazla iterasyona ihtiyaç duymasına karşın seçilen temas katılığı değerine daha az hassastır. Temas analizlerinde kullanılan tanımlar aşağıda verilmiştir.

***Temas algılama***

Sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yaparken temas eden elemanların belirtilmesi gerekir. Çözüm yazılımlarının teması algılamak ve yakınsamayı hızlandırmak için seçenekler sunmaktadır. Penaltı ve genişletilmiş Lagrange çarpanı yöntemlerinde Gauss bütünleşim noktası kullanılmaktadır. Analiz esnasında elemanların durumuna göre temas algılanmaması durumunda serbest cisim hareketi meydana gelebilir. Bir sönüm katsayısı ile iki parça arasındaki izafi hareket engellenebilmektedir. Pinball yarıçapının genişletilmesi ile daha geniş bir alanda temas algılanması sağlanabilir.

***Geçirgenlik toleransı***

Genişletilmiş Lagrange çarpanı yöntemi kullanılması durumunda geçirgenlik toleransı tanımlanması gerekmektedir. Geçirgenlik toleransı pozitif bir boyutsal değer ya da 0 ila 1 arasında bir katsayı olarak formülasyona dâhil edilmektedir (ANSYS, 2004).

### *Arabağ bakımı*

Sürtünmesiz, sürtünmeli veya pürüzlü temas koşullarının analizinde temas yüzeylerinin bakım yönteminin de belirtilmesi gerekir. Aralarında açıklık bulunan iki elemanın temas durumu incelenirken analiz başlangıcında temas halindeymiş gibi davranması sağlanabilir.

### *Katılık değerleri*

Temas eden elamanların ve temas bölgesinin katılık değerleri sonlu elemanlar çözümü açısından hesaplanmalıdır. Hesaplamalara elastiklik modülünün 0.01 ila 10 arasında pozitif bir değerle çarpımı olarak katılmaktadır. Değerler küçüldükçe yakınsama kolaylaşsa da daha fazla geçirgenlik olmaktadır.

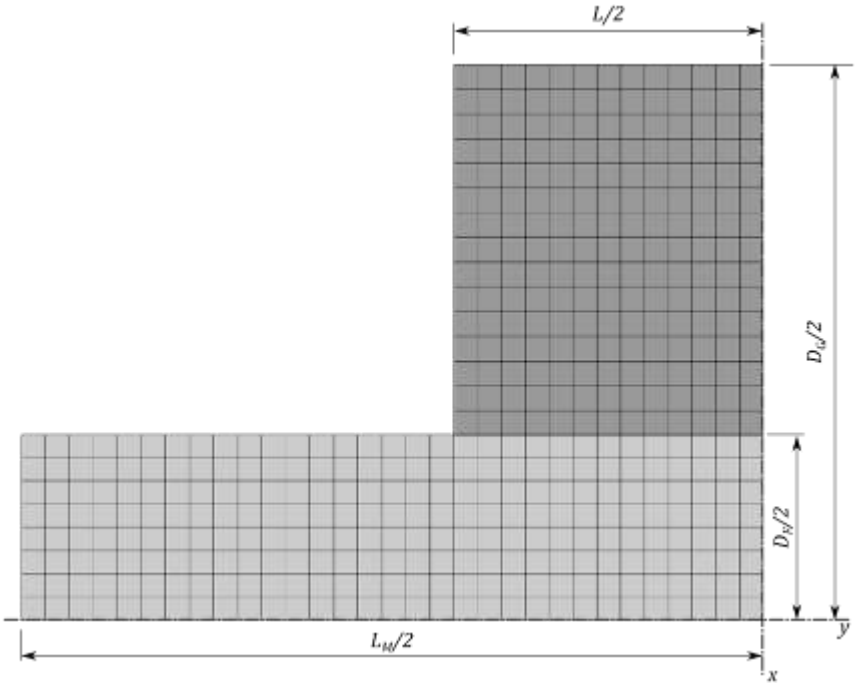
Çözüm esnasında temas katılığı değerlerinin güncellenmesi gerektiğine karar verilmesi durumunda Penaltı yöntemi ya da genişletilmiş Lagrange çarpanı yöntemi kullanılması durumunda gerilme ve geçirgenliğe bağlı olarak (geçirgenliği azaltmak için) her bir iterasyon için temas katılığını azaltma, artırma veya sabit tutma seçeneklerinden biri kullanılabilir.

## YÖNTEM

Çalışma kapsamında örnek bir modelde farklı eleman ve düğüm sayıları için temas parametrelerin yakınsama ve doğruluk üzerine olan etkileri incelenmiştir. Eksenel simetrik sıkı geçme bağlantı yarım model olarak oluşturulmuştur. Modelde 4 düğümlü dörtgen elemanlar kullanılmıştır. Modele ilişkin büyüklükler Şekil 4'te görülmektedir. Örnek modelde geçme çapı $D_F = 30$ mm, göbek dış çapı $D_G = 90$ mm, mil uzunluğu $L_M = 120$ mm ve temas uzunluğu $L = 50$ mm'dir. Mil ve göbek arasında geçme sıkılığı $Z = 0.08$ mm olarak tanımlanmıştır. Ağ yapısı korunacak şekilde eleman boyutu 0.5, 1 ve 2 mm için analizler tekrarlanmıştır. Her bir eleman boyutu için genişletilmiş Lagrange yöntemi ile temas katılığı değeri elastik direnç değerinin 0.125, 0.5 ve 1.0 katı için temas basıncının değişimi incelenmiştir. Sonlu elemanlar çözümlerinde seçilen malzemenin elastik direnci 210 GPa ve Poisson oranı 0.3 olarak belirlenmiştir.

Analizlerde temas uzunluğu boyunca temas basıncındaki değişim incelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sonuçlar daha önce bahsedilen kalın cidarlı basınçlı kaplar teorisine dayanan teorik hesaplamalarla kıyaslanmıştır. Simetri ekseni referans

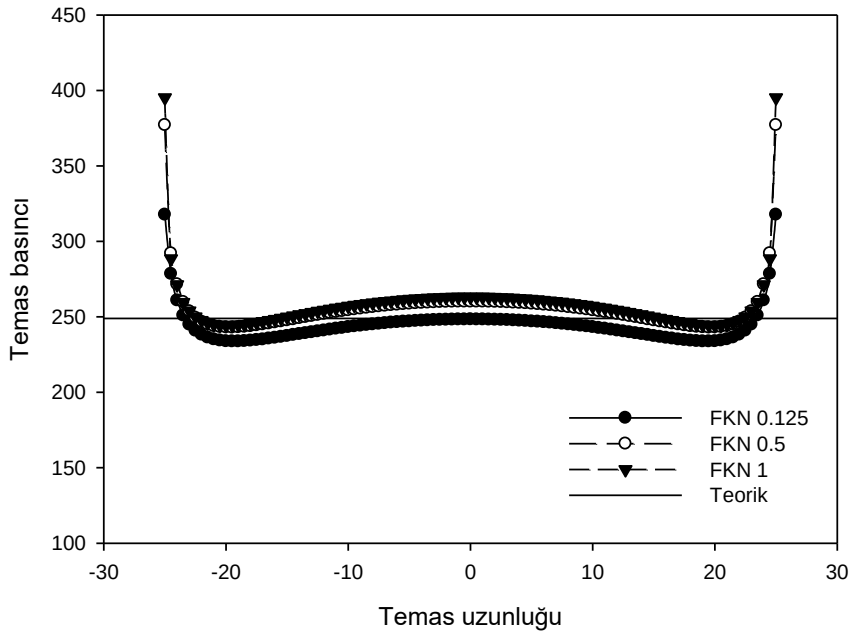
alınarak modelden elde edilen sonuçların doğrulaması teorik hesaplamalarla yapılmıştır.




**Şekil 4. Sonlu elemanlar modeli ve önemli büyüklükler**

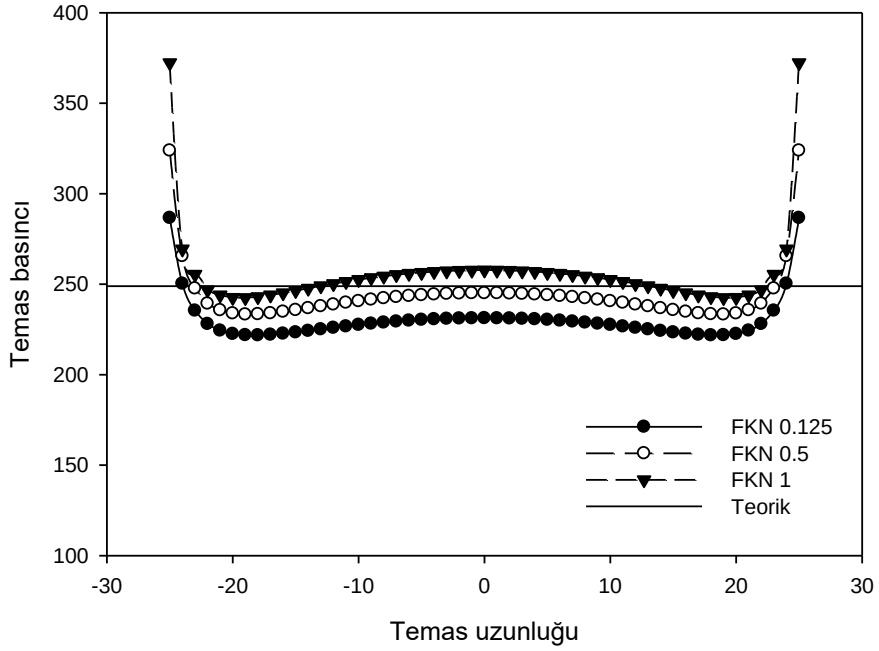
**BULGULAR**

Yapılan analizler sonucunda elde edilen temas basıncı değerlerinin temas uzunluğu boyunca değişimi normal farklı katılık değerleri için incelenmiştir. Farklı eleman boyutları için elde edilen değerler burada sunulmuştur. Şekil 4'te eleman boyutu 0.5 mm ve daha küçük olan modelin temas uzunluğu boyunca temas basıncındaki değişimi görülmektedir. Şekilde verilen normal katılık değerleri (FKN) malzemenin elastik direnç değerine oranıdır. Yatay sabit çizgi ise kalın cidarlı basınçlı kaplar teorisine göre hesaplanmış teorik temas basıncını göstermektedir. Şekilde görülen noktalar ilgili düğüm noktasının koordinatına denk gelmektedir. 0 koordinatı referans alınmıştır. Buna göre teorik değere en yakın basınç dağılımı elastik direncinin 0.125 katına denk gelen 26250 değeri için elde edilmiştir. Sıkı geçme bağlantının her iki ucunda oluşan basınç artışları bağlantının doğasından kaynaklanmaktadır ve sonlu elemanlar modeli ile uyum içindedir.

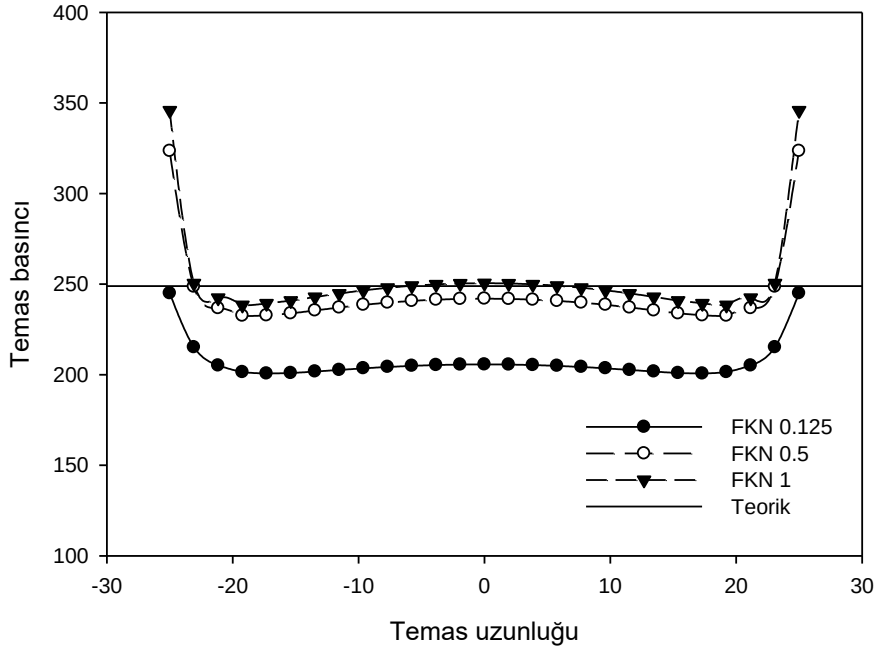



**Şekil 4. Eleman boyutu 0.5 mm için temas basıncının değişimi**

Benzer şekilde Şekil 5'te boyutu 1 mm den küçük ve Şekil 6'da ise 2 mm küçük olan elemanlar kullanılarak elde edilen basınç dağılımları görülmektedir. 1 mm eleman boyutu için en yakın referans değer elastik direncin 0.5 katı için elde edilmiştir. 2 mm eleman boyu için bu değer 1.0 olmaktadır.




**Şekil 5. Eleman boyutu 1 mm için temas basıncının değişimi**




**Şekil 6. Eleman boyutu 2 mm için temas basıncının değişimi**

Yapılan çalışmalar ve bulgular neticesinde temas katılığı değerinin sonlu sıkı geçme bağlantıların sonlu elemanlar yöntemi çözümlerinden elde edilen sonuçlar üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Elastik direnç değerinin ve eleman boyutunun temas katılığını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Eleman boyutu artıkça yüksek temas katılığı değerlerinin tercih edilmesi gerekmektedir. Ancak bu değerin elastik direnç değerinin tam katından daha fazla olması çözüm hatalarını artıracağından eleman boyutunun küçültülmesi yoluna gidilmelidir. Sıkı geçme bağlantılar özelinde temas katılığının elastik direncin 0.1 katından daha düşük olmasını gerektirecek kadar küçük eleman boyutu işlem süresini ve maliyetini artıracağından tercih edilmemelidir. Aynı koşullar altında asimetrik çözüm daha az iterasyonla çözüme ulaşmaktadır. Bu çalışmada 4 düğümlü elemanlar kullanılmıştır. Modelin 8 düğümlü elemanlar kullanılarak oluşturulduğu çözüm için 0.5 mm eleman boyutunda 4 düğümlü veya 8 düğümlü elemanlar arasındaki fark %0.01'den daha küçüktür.

## SONUÇ

Örnek bir sıkı geçme bağlantıda farklı eleman boyutları için sonlu elemanlar çözümünde kullanılan temas katılığının temas basıncı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışma ve değerlendirmeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sıkı geçme bağlantıların temas analizinde Penaltı ve genişletilmiş Lagrange yöntemleri kullanılması uygundur.

Temas katılığı değerinin elastik direnç değerine tamamen bağlı olduğu bilinmektedir. Genişletilmiş Lagrange yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde eleman boyutunun etkisi görülmüştür. Eleman boyutu küçüldükçe seçilmesi gereken temas katılığı değerleri de küçülmektedir.

Eleman boyutu küçüldükçe işlem süresi artacağından temas katılığının elastik direncin 0.1 katından daha küçük ve hassas sonuçlar elde edilmesi adına elastik direncin tam katından büyük olmayacak şekilde modelin oluşturulması önemlidir.

## KAYNAKLAR

ANSYS. (2004). *ANSYS Contact Technology Guide*. Canonsburg: Ansys Inc.

Budynas, R. G. ve Nisbett, J. K. (2006). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. *McGraw-Hill* (8. bs.). New York: McGraw-Hill.

Campos, U. A. ve Hall, D. E. (2019). Simplified Lamé's equations to determine contact pressure and hoop stress in thin-walled press-fits. *Thin-Walled Structures*, *138*(September 2018), 199–207. doi:10.1016/j.tws.2019.02.008

DIN 7190-1:2017. (2017). *Pressverbände - Teil 1: Berechnungsgrundlagen Und Gestaltungsregeln Für Zylindrische Pressverbände*.

Niemann, G., Winter, H. ve Hoehn, B.-R. (2005). *Maschinenelemente Band I: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen*. *Springer* (4. bs.). Berlin Heidelberg: Springer.

Özel, A., Temiz, Ş., Aydin, M. D. ve Şen, S. (2005). Stress analysis of shrink-fitted joints for various fit forms via finite element method. *Materials and Design*, *26*(4), 281–289. doi:10.1016/j.matdes.2004.06.014

Wriggers, P., Van, T. V. ve Stein, E. (1990). Finite element formulation of large deformation impact-contact problems with friction. *Computers & Structures*, *37*(3), 319–331.

Zahavi, E. ve Barlam, D. M. (2000). *Nonlinear Problems in Machine Design*. CRC Press.

Zhang, Y., McClain, B. ve Fang, X. D. (2000). Design of interference fits via finite element method. *International Journal of Mechanical Sciences*, *42*(9), 1835–1850. doi:10.1016/S0020-7403(99)00072-7.

# PROBLEMS AND SUGGESTIONS FOR SUSTAINABLE RENEWABLE SOLAR ENERGY COOPERATIVING

Ahmet HAMZAOĞLU

Electric-Electronic Engineering, Hakkari University

ahmethamzaoglu@hakkari.edu.tr

Ali ERDUMAN

Electric-Electronic Engineering, Hakkari University

alierduman@hakkari.edu.tr

**ABSTRACT**: Depending on the increase in demand for the use of energy production resources, problems such as diversification of production, transmission of produced energy to the consumer, storage of produced and unavailable energy, complexity of the energy system and difficulty of management are observed in central production systems. One of the methods used to overcome the problems is the use of on-site production systems. On-site production systems provide advantages such as reducing transmission losses and meeting load on-site. The cooperative model used in the installation of on-site production systems is expressed as renewable energy cooperative. Since renewable energy cooperatives are established through the merger of producers, they can provide advantages in terms of reducing energy production costs and ensuring the sustainability of the enterprise. In this study, the technical components necessary for the development of renewable energy cooperatives were examined according to solar energy production management. According to the types of solutions for the technical problems identified on the basis of solar energy source, the things to be done are listed.

**Key words:** sustainability, renewable energy sources, solar energy, solar energy cooperatives

# SÜRDÜRÜLEBİLİR YENİLENEBİLİR GÜNEŞ ENERJİ KOOPERATİFÇİLİĞİ ÖNÜNDEKİ PROBLEMLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

**ÖZET:** Enerji üretim kaynaklarının kullanımına olan talebin artmasına bağlı olarak merkezi üretim sistemlerinde; üretimin çeşitlendirilmesi, üretilen enerjinin tüketiciye iletilmesi, üretilip kullanılamayan enerjinin depolanması, enerji sisteminin karmaşıklaşması ve yönetimin zorlaşması gibi konularda problemler görülmektedir.

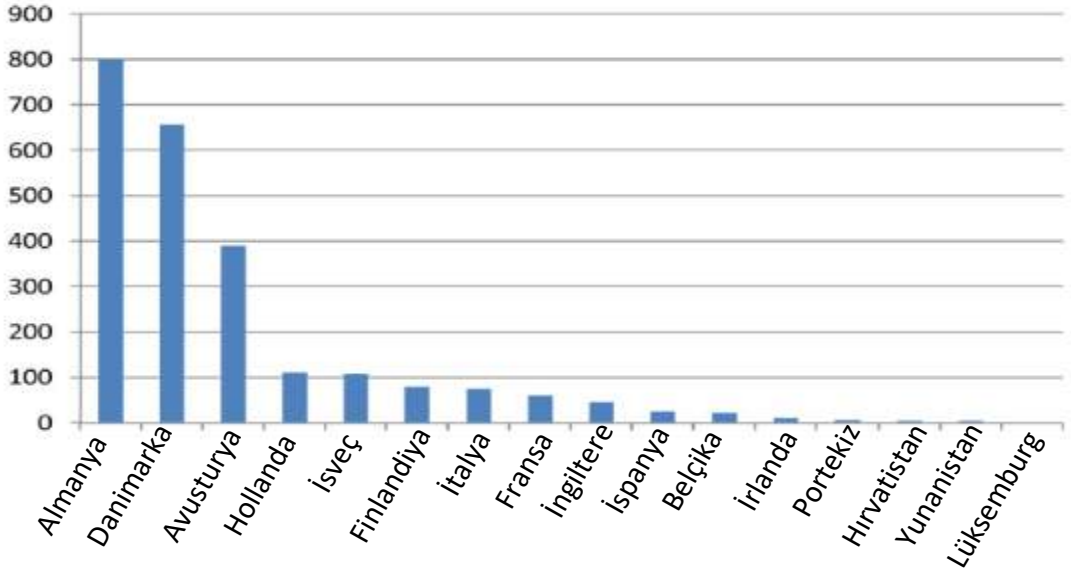
Problemlerin aşılmasına yönelik kullanılan yöntemlerden birisi de yerinde üretim sistemlerinin kullanılmasıdır. Yerinde üretim sistemleri iletim kayıplarının azaltılması ve yükün yerinde karşılanması gibi avantajlar sağlamaktadır. Yerinde üretim sistemi için gerekli olan sermaye tüketici tarafından bizzat karşılanabildiği gibi tüketicilerin birleşip kooperatifleşmesiyle de karşılanabilmektedir. Yerinde üretim sistemlerinin kurulmasında kullanılan kooperatifçilik modeli yenilenebilir enerji kooperatifçiliği olarak ifade edilmektedir. Yenilebilir enerji kooperatifleri üreticilerin birleşmesi ile kurulduğundan enerji üretim maliyetlerinin azaltılması ve işletmenin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından avantaj sağlayabilmektedir. Bu çalışma kapsamında yenilenebilir enerji kooperatifçiliğin geliştirilmesi için gerekli olan teknik bileşenler güneş enerjisi üretim yönetimine göre incelenmiştir. Güneş enerjisi kaynağı bazında tespit edilen teknik problemlerin çözümüne yönelik çeşitlerine göre yapılması gerekenler sıralanmıştır.

**Anahtar sözcükler:** sürdürülebilirlik, yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi, güneş enerji kooperatifçiliği

## GİRİŞ

Dünya genelinde enerjiye olan talep 1971 ile 2017 yılları arasında 2.5 kat artmış ve 5519 Mtoe ‘den 13972 Mtoe değerine ulaşmıştır (Fallis, 2013). Enerjiye olan talebin artması kaynakların çeşitlendirilmesi ve yeni olan kaynakların üretime katılması ile mümkün olmaktadır. Günümüzde yeni kaynakların enerji sistemlerine katılımında; enerji üretim maliyetlerinin azaltılması, enerji iletim ve dağıtım kayıplarının azaltılması, düşük karbon salınımlı ve daha verimli sistem gereksinimleri gibi kazanımlar etkili olmuştur. Aynı zamanda toplam kurulu güç içerisinde yerinde üretim tesislerin payı giderek artmaktadır (Bauwens, Gotchev, & Holstenkamp, 2016). Yerinde üretim tesislerinin çevreci olması, bölgesel kaynakları kullanması ve düşük karbon salınımları gibi kazanımları yenilenebilir enerji kaynaklarının daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları hidroelektrik, rüzgar, güneş, biyoenerji, gel git enerjisi gibi kaynaklar olup bölgesel analizler sonucunda o bölge için uygun kaynak seçilmektedir. Bu kaynakların enerji üretiminde kullanılmasında; kamu üretimi, yap işlet devret, özel sektör girişimi veya kooperatifçilik gibi faklı ekonomik modeller kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemlerden biri olan enerji kooperatifçiliği; o bölgede oturan enerji kullanıcılarının üretime katılımını sağlaması, bölgesel refah seviyesinin yükseltmesine katkı sağlaması, sürdürülebilir ekonomiye uygun olması vb. nedenlerden dolayı devletler ve yerel yönetimler tarafından desteklenmektedir (Viardot, 2013). Bu bağlamda yenilenebilir enerji kooperatifi; kooperatif ortaklarının hepsinin aynı dağıtım bölgesinde elektrik abonesi olması ve en az 7 kişinin bir araya gelmesiyle oluşan kooperatif modelidir. Kooperatifi oluşturan ortaklar özel kişiler olabileceği gibi, tüzel kişilerden de oluşabilir. Yenilebilir enerji kooperatifçiliği dünya genelinde 1974 yılında yaşanan petrol krizinden sonra ortaya çıkmıştır (Derneği YD, 2017). Günümüze gelindiğinde ise elde edilen nemanın üyelerine paylaştırıldığı ve çok

katılımcılı bir hal almıştır. Şekil 1'den de görüldüğü gibi birçok yenilenebilir enerji kooperatifi ortaya çıkmıştır.




**Şekil 1. Yedi Avrupa Ülkesinde Kurulu Yaklaşık Yenilenebilir Enerji Kooperatif Sayıları (Bauwens, Gotchev, & Holstenkamp, 2016).**

Almanya, Danimarka, Hollanda gibi ülkeler yenilenebilir enerji kooperatifçiliği konusunda başı çekmektedir. Almanya'da görülen büyümenin başlıca nedeni önümüzdeki birkaç 10 yılda enerji kaynaklarının tamamını yenilenebilir enerjiden karşılamayı planlamaları gelmektedir. Almanya'da 2015 yılı itibariyle bireylerin ve kooperatiflerin elektrik üretimi toplam üretimin %47'si olarak hesaplanmıştır (Derneği YD, 2017) Türkiye'de ise yenilenebilir enerji kooperatifçiliği 2012'den itibaren yasal olarak tanımlanmış ve 2016 yılından itibaren lisanssız elektrik üretimin desteklenmesiyle hız kazanmıştır (Çetinkaya, 2014). Uluslararası Kooperatifler Birliği'nin bir işletmenin kooperatif olabilmesi için belirlediği temel 7 ilke vardır. Bu ilkeler tüm kooperatifler için geçerlidir ve her kooperatifin bünyesinde bulunması gereklidir. Bu ilkeler: gönüllü ve açık üyelik, ortakların demokratik kontrolü, ortakların ekonomik katılımı, özerklik ve bağımsızlık, eğitim öğretim ve bilgilendirme, kooperatifler arası bilgilendirme, topluma karşı sorumluluktur.

Yenilenebilir enerji kooperatifçiliğin geliştirilebilmesi politik, ekonomik, sosyal ve teknik birçok parametrenin birlikte değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Türkiye'de yenilenebilir enerji kooperatifi kurulabilmesi 2 Ekim 2013 tarihli ve 28783 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan " Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik" in 5. Maddesi ile olası kılınmıştır. Bu çalışma kapsamında yenilenebilir enerji kooperatiflerin kurulumunda güneş enerjisine göre ortaya çıkabilecek teknik problemler ve bunların çözüm yöntemleri incelenmiştir.

Güneş enerji pazarı güneşlenmenin yoğun olduğu Afrika, Orta doğu, Asya, Hindistan ve Çin'de giderek büyümektedir (Costa, Diniz, & Kazmerski, 2016). Türkiye'de güneş enerjisi kullanımında son yıllarda önemli atılımlar yapmaktadır. Güneş enerji santrallerinin doğru planlanması santrallerin geri dönüşümünü doğrudan etkilemektedir. Durusu ve Erduman'ın yapmış olduğu çalışmada santrallerin geri dönüşüm sürelerini etkileyen başlıca parametreler; kurulum ve işletme maliyetleri olarak belirlenmiştir (Durusu & Erduman, 2018). Kurulum parametreleri içinde ise en büyük payı santrallerde kullanılan güneş panelleri almıştır. Güneş panellerinin verimli çalışması bu açıdan önem kazanmaktadır. Güneş enerjisi panellerinin verimini etkileyen parametreler yapısal ve çevresel olarak ikiye ayrılabilir. Yapısal parametreler konusunda Green ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada üretimde kullanılan yöntem ve teknikler hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Bu yapılardan üretimde kullanılan malzemeler (Si, GaAs InP, CIGS,CdTe vb.) , üretim teknikleri (Monokristal, Polikristal, İnce film vb.) olarak örneklendirilebilir (Green, Emery, Hishikawa, Warta, & Dunlop, 2016). Çevresel değişkenler; sıcaklık, nem, ışınım miktarı, gölgelenme, bulutluluk etkisi, yağmur, kar ve kirlilik olarak sınıflandırılabilmektedir (Akdemir, Durusu, Erduman, & Nakir, 2018; Costa et al., 2016; Kaldellis & Kapsali, 2011; Maghami et al., 2016; Romero-Fiances, Muñoz-Cerón, Espinoza-Paredes, Nofuentes, & De La Casa, 2019). Yapılan bu çalışlardan görüldüğü gibi çevresel etkiler ve bunlarının değişimleri sonucunda güneş enerji panelleri fabrika koşullarında vermiş oldukları verim değerlerinin altında çalışmaktadırlar. Literatürde bu konu üzerine birçok örnek bulmak mümkündür. Asad Ullah ve arkadaşları kirlilik ve açı ilişiklisini incelemiş ve Pakistan'da yaptıkları çalışmada %40 kirliliğe sahip bir panelin 100 gün sonunda üretim değerlerinin $0^0$ de % 26, $35^0$ de %18,4 ve $90^0$ de % 13,5 kadar azaldığı tespit edilmiştir (Ullah, Imran, Maqsood, & Butt, 2019). Negash ve arkadaşlarının Ethiopia'da yaptığı çalışmada ise faklı yerleşim açılarında kirliliğe bağlı kayıplarının % 25,45 ile % 12,54 arasında değiştiğini deneysel olarak tespit etmişlerdir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde dağıtım sistemi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonunda ortaya çıkan problemler güneş enerjisine bağlı yenilenebilir enerji kooperatifleri için etkileri ve çözüm önerileri sıralanmıştır.

## Yenilenebilir Enerji Kooperatifçiliği İçerisinde Güneş Enerji Sistemini Etkileyen Değişkenler

Yenilenebilir enerji kooperatifleri kurulumunda faklı yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilebilmektedir. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları ise rüzgar, güneş, hidro, jeotermal, biyokütle, dalga enerjisi ve hidrojen enerjisi olarak sınıflandırılmaktadır. Bu kaynakların şebekeye bağlantısında kendi üretim modellerine göre bağlantı kısıtlar oluşturabilmektedir. Bu çalışmada güneş enerji santrallerinin kısıtları ve bu kısıtlara yönelik çözüm önerileri getirilecektir. Güneş enerji santrallerin kurulumundaki kısıtlar meteorolojik, çevresel ve elektrifikasyon yapısı ve santral teknolojisi bileşenleri olarak dört ana başlıkta toplanabilmektedir.

*Meteorolojik Değişkenler*

Güneş enerjisine bağlı olarak kurulacak enerji santrallerinin kurulması düşünülen yerin üretim kapasitesinin hesaplanmasında doğrudan etkisi olduğu için meteorolojik değişkenlerin analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Meteorolojiye bağlı değişkenler; güneşlenme süresi, güneş radyasyonun miktarı, rüzgar, sıcaklık, nem vb. olarak sınıflandırılabilmektedir. Günlük güneşlenme süresi o bölgede güneşin gökyüzünde görülebildiği süre olarak tanımlanmaktadır. Güneşlenme süresinin artması güneşten alınabilecek enerjinin artması anlamına gelmektedir ve güneş enerji santralleri günlük güneşlenme süresilerin uzun olduğu yerlere kurulması yatırım geri dönüşüm sürelerin kısaltmaktadır. Güneşlenme süresini etkileyen değişkenler ise; bulutluluk, bakı ve gündüz süresi olarak tanımlanmaktadır.

**Tablo 1. Güneşlenme Süresini Etkileyen Faktörler ve Çözüm Önerileri**

| Güneşlenme Süresini Etkileyen Faktörler | Santral Üzerindeki Olumsuz Etkisi | Çözüm Önerileri |
|---|---|---|
| Bulutluluk | Santral kurulumunun planladığı yerdeki bulutluluğun fazla olması panel verimini düşürecek buna bağlı olarak enerji üretimi azalacaktır. | Santral kurulumu yapılacak bölgelerde aylık ve yıllık bulutluluk ölçümleri yapılarak kurulum için bulutluluğun az olduğu bölgeler tercih edilmelidir. |
| Bakı | Dağlık bölgelerde santrallerin güneşe karşı konumlarına bakı etkisi denir. Güneş yönünde kurulmayan santraller gölgede kalacağı için üzerlerine düşen ışınım azalacak ve üretim düşecektir. | Bakı etkisinin azaltılması için Kuzey yarım kürede santraller güneye bacak şekilde güney yarım kürede ise kuzeye bakacak şekilde konumlandırılması gerekmektedir. |
| Gündüz Süresi | Güneşin doğup batma anına kadar geçen süre olan gündüz süresi santrallerin kurulumu süresinde dikkat edilmelidir. Gündüz süresinin az olduğu yerlerde güneşten | Gündüz süresi santralin kurulumunda dünyada üzerindeki konumuyla alakalı olduğu için mümkün olduğu kadar ekvatora yakın bölgelerde |

| | | |
|---|---|---|
| | faydalanma azalacağı için üretim miktarı da düşecektir. | kurulum yapılması gerekmektedir. |
| Güneş ışınımı | Bir bölgenin güneş enerjisi potansiyeline dair en önemli meteorolojik değişken ölçümü güneş ışımasıdır. Güneş enerjisi üretiminde güneş ışınımının düşük olduğu yerlerde üretim yapılması sistemi verimlilik açısından olumsuz etkilemektedir. | Kurulum yapılacak bölgenin güneş ışınım değerleri piranometre yardımıyla ölçülerek ortalama yıllık ışınım değeri çıkarılıp elde edilen sonuçlara göre kurulum yapılacak bölge belirlenmelidir. |
| Rüzgar | FV paneller güneş enerjisinden elektrik üretimi yaparken ortaya ısı enerjisi de çıkar. Isı enerjisi ile birlikte ısınan panelin verimliliği azalır ve bu durum üretimi olumsuz etkiler. | Rüzgar ölçümleri sonucunda rüzgar varlığının olduğu bölgelerde güneş enerji santralleri kurulumunun yapılması panellerin doğal yollarla soğutulmasını sağlayarak verimliliği arttıracaktır. |
| Sıcaklık | Güneş enerjisi kurulumunda sıcaklık değişkeni üretim miktarını doğrudan etkilediği için kurulum yapılacak bölgenin sıcaklık açısından uygun seviyede olmaması üretimdeki verimliliği olumsuz etkilemektedir. | Güneş enerji santrali kurulacak bölgenin sıcaklık ölçümü yapılarak panel verimini olumsuz etkilemeyecek bölgelerde kurulum yapılmalıdır. |
| Nispi nem | FV panellerin üzerine gelen ışınlar en fazla havadaki nem tarafından emilir, sıçratılır veya yansıtılır. Bu durum panelin güneşlenme süresini azaltır ve verimliliği düşürür. | FV panellerin kurulumu planlamasında nem miktarının belirli periyotlarla ölçülerek nemin az olduğu bölgeye kurulumun yapılması panel verimliliği açısından önem arz etmektedir. |

***Çevresel Değişkenler***

Güneş enerji santrallerin kurulması düşünülen bölgenin coğrafi konumuna bağlı olarak çevresel değişkenlikler gözükebilmektedir. Bu değişkenler ise; bölgenin coğrafi yapısı, bölgenin kirlenme, bitki örtüsü yapısı, yüzey eğimi olarak tanımlanmaktadır.

**Tablo 2. Çevresel Değişkenlerin Santral Üzerindeki Etkisi ve Çözüm Önerileri**

| Çevresel Değişkenler | Santral Üzerinde Olumsuz Etkisi | Çözüm Önerileri |
|---|---|---|
| Kirlenme | Panel üzerinde oluşan toz, kuş pisliği vb. değişkenlerden dolayı panelin enerji üretim değeri azalmaktadır. | Panelin kurulacağı bölgenin önceden izleme modelleri ile izlenerek kirlenme periyotlarının belirlenmesi, panellerin temizlenmesi için gerekli düzenek ve personelin maliyete katılması, santrallerin kuş göç ve yaşam alanlarından uzaklara kurulması gerekmektedir. |
| Bitki örtüsü | Çok ağaçlıklı ve eğimin düşük olduğu yerlerde ağaçların panelleri gölgelemesi sebebi ile enerji üretimi azalmaktadır. Ayrıca panellerin faklı gölgelenmeleri iç sirküle akımlar oluşturmaktadır. | Panellerin kurulum aşamasında bitki örtüsü analiz edilerek panellerin gölgelenmeye en az maruz kalacak yerleşim planı ile konumlandırılması, göllenme boyları önceden hesap edilerek panellerin ekstra yükseltilmesi, faklı göllenmelerin panellerde sirküler akımları oluşturmasını engellenmesi içinse blokaj diyotları projeye konulması gerekmektedir. |
| Yüzey eğimi | Bölgenin eğinin yüksek olması panellerin gelen ışınımı tam dik olarak almamasına ve nu durum verimin düşmesine sebep olmaktadır. | Panellerin üretim noktası için optimal eğim açısı hesaplanmalı ve bölgeler için çıkartılan değerlere dikkat edilme fazla açılarda açıyı düşürmek için teraslama yapılmalı |

| | | |
|---|---|---|
| | | düşük eğimlerde ise konstrüksyioına uygun eğim için gerekli ekstra yükseltmeler yapılmalı bu eklemeler ayrıca kurulum maliyetlerine eklenmelidir. Panellerin eğimi bölgesel olarak değişmesine rağmen genel olarak arazinin ortalama eğiminin %10 eğimli olmasına dikkat edilmelidir. |

***Elektrifikasyon Altyapısı***

Yenilenebilir enerji kaynakları güç sistemi içerisinde iletim ve dağıtım noktalarında bağlanabilmektedir. Bu bağlantılar lisanslı ve lisansız olarak yapılabilmektedir. Genel olarak Elektrifikasyon alt yapısına bağlantılarda iletim ve dağıtım bölgesine göre özel şartları olabilmektedir. Bu şartların neler olduğu kurulması düşünülen bölgesel iletim ve dağıtım sistemi yöneticilerinden ayrıca talep edilmelidir. Genel olarak enerji sistemi üzerinde kurulması düşünülen yenilenebilir enerji kaynakları için dikkate edilmesi gerekenler; bağlantı noktasına olan uzaklığı, bağlantı noktasında olan trafoların yüklenebilirlik değeri, enerji aktarım sisteminde kullanılan iletken tipleri ve kapasiteleri, enerji koruma ve koordinasyon sistemleri ile ölçme sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır.

***Santral Teknoloji Bileşenleri***

Santral teknoloji bileşenleri ise; PV santrallerinde kullanılan panel tipleri verimlilikleri, DC/AC dönüşümünde kullanılan dönüştürücü tipleri, santral içi kablaj, santral içi koruma ve topraklama sistemleri olarak sınıflandırabilmektedir.

**Tablo 3. Santral Teknoloji Değişkenlerinin Sistem Üzerindeki Etkileri ve Çözüm Önerileri**

| Santral Teknoloji Bileşenleri Değişkenler | Santral Üzerine Olumsuz Etkisi | Çözüm Önerileri |
|---|---|---|
| Panel Tipleri | FV santral kurulumunda kullanılan panel türünün verimliliğe | Kurulum yapılacak bölgenin coğrafi ve meteorolojik özelliklerine bağlı olarak en uygun |

| | | |
|---|---|---|
| | doğrudan etkisi olduğu bilinmektedir. Sıcaklık, nem vs. gibi değişkenlere bağlı olarak panel verimleri değişmektedir. | panel seçiminin yapılması verimlilik açısından önem arz etmektedir. |
| DC/AC Dönüştürücü Tipleri ve Topolojileri | FV santrallerden elde edilen DC enerjinin başka bir hatta iletilmesi aşamasında yaşanan kayıplarda dönüştürücü tipi de etkendir. | FV santrallerdeki paneller kendi içlerinde gruplandırılarak her gruba uygun dönüştürücü kullanılması grup içerisindeki sistemsel arızaların tüm tesisi etkilemesini engelleyecektir. |
| Santral İçi Koruma Sistemleri | Enerji üretimi ve iletimi aşamasında sahadaki koruma teçhizatlarının eksikliği veya bakımdan uzak olması işletmeyi maddi anlamda büyük kayıplara götürebilir. | Santrallerde kullanılan sistem koruma teçhizatlarının bakımlarının veya kullanılma ömrü tamamlanmış ise değişimlerinin gerçekleştirilmesi işletmenin küçük çıktılarla büyük zararlardan kurtaracaktır. |
| Kablolama | Üretilen enerjinin yeraltı ve havai hatlarda iletilmesi ve bu aşamada doğru iletkenlerin seçilmemesi sistemsel arızaları ve enerji kayıplarını beraberinde getirecektir. | Ülkemizde iletim ve dağıtımdaki enerji kayıplarının %14 civarlarında olduğu gerçeği, işletmelerde kullanılacak iletkenlerin işletmeye en uygun olmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu sayede kısa mesafelerde iletim ve dağıtım kayıplarının azaltılması mümkün hale gelecektir. |
| Topraklama | Kurulması planlanan FV sistemdeki tüm elektriksel teçhizatın topraklamalarının yapılmaması veya tek | FV sistemlerde her elektriksel alet veya teçhizat için ayrı ayrı topraklama noktaları oluşturulması ve sistemin |

| | | |
|---|---|---|
| | bir topraklama hattına bağlanarak sistemin korunması ciddi riskler taşımaktadır. | bu şekilde topraklanması bölgesel oluşabilecek arızaların tüm sistemi etkilemesini engelleyerek üretim sisteminin verimliliğini etkilemeyecektir. |

Türkiye şartlarında yenilenebilir enerji kooperatifçiliği adı altında şirket kurmak ve lisans almaktan muaf tutulan kooperatiflerin kuruluşunu şöyle sıralayabiliriz; en az 7 tüzel veya gerçek kişiden oluşabilecek ortaklık, ortakların bir araya gelmesiyle tüzüğün oluşturulması, ana sözleşmenin kooperatifçilik genel müdürlüğüne gönderilmesi, kooperatif ortakları tarafından seçtikleri yenilenebilir enerji kaynağı ile nerede üretim yapılacağının belirlenmesi, güneş enerjisi paneli kurulumu yapılacak arazi için bulundukları ilin gıda tarım ve hayvancılık il müdürlüğünden marjinal tarım arazisi yazısının alınması, yine kurulum yapılacak arazi için 'çevresel etki değerlendirme gerekli değildir' kararının çevre ve şehircilik il müdürlüklerinden alınması, bu aşamaya kadar hazırlanan tüm belgeler ile o bölgedeki elektrik dağıtım şirketine başvurulması, dağıtım şirketine başvuru sonrası müteakip 90 gün içinde tesis projesi ve bağlantı hattı onay için TEDAŞ'a sunulur, projenin onayı ile birlikte kurulum yapılacak bölgedeki belediyeden imar izni alınır ve son olarak yenilenebilir enerji sistem kurulumu gerçekleştirilir.

## SONUÇ

Yenilenebilir, sürdürülebilir, çevreci ve tükenmeyen enerji kavramlarının son yıllarda dünyada yükselen bir trende sahip olmasıyla birlikte enerji yatırımcıları ve tüzel kişiler yenilenebilir enerji kaynaklarına ve buna bağlı enerji tüketicilerinin örgütlenmesiyle oluşan kooperatifçilik kavramına yönelmişlerdir. Bu çalışmayla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi önündeki teknik problemler incelenerek çözüm önerileri sunulmuştur. Bununla birlikte yenilenebilir güneş enerji kooperatifçiliği kavramı ortaya konarak kooperatifleşmenin önündeki teknik problemler ve kooperatifleşme süreci araştırılıp gerekli olan bilgiler derlenerek özet halinde sunulmuştur. Sistem kurulum maliyeti ve enerji karlılığı sağlayan enerji kooperatiflerinin ülkemizde yaygınlaşması ile enerji iletim-dağıtım sistemlerinde görülen birçok teknik kaybın önüne geçildiği tespit edilmiştir. Son olarak yenilenebilir enerji kooperatifçiliğinde güneş enerji santrallerinin kurulum ve işletme şemasındaki planlamacı ve üreticiler için muhtemel teknik problemler ve çözüm önerileri verilmiştir.

## BİLGİLENDİRME

Bu çalışma, Hakkari Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün FM19BAP18 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

**KAYNAKLAR**

Fallis, A. (2013). *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689-1699.

Bauwens, T., Gotchev, B., & Holstenkamp, L. (2016). Energy Research & Social Science What drives the development of community energy in Europe ? The case of wind power cooperatives, *13*, 136–147.

Viardot, E. (2013). The role of cooperatives in overcoming the barriers to adoption of renewable energy. *Energy Policy*, *63*, 756-764.

Derneği, Y. D. (2017). Enerji Kooperatifleri El Kitabı.

Bauwens, T., Gotchev, B., & Holstenkamp, L. (2016). Energy Research & Social Science What drives the development of community energy in Europe ? The case of wind power cooperatives, *13*, 136–147.

Çetinkaya, H. B. (2014). Proceeding book, 72–75.

Costa, S. C. S., Diniz, A. S. A. C., & Kazmerski, L. L. (2016). Dust and soiling issues and impacts relating to solar energy systems: Literature review update for 2012-2015. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *63*, 33–61. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.059

Durusu, A., & Erduman, A. (2018). An Improved Methodology to Design Large-Scale Photovoltaic Power Plant. *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, *140*(1). https://doi.org/10.1115/1.4038589

Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., & Dunlop, E. D. (2016). Solar cell efficiency tables (version 47). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, *24*(1), 3–11. https://doi.org/10.1002/pip.2728

Akdemir, H., Durusu, A., Erduman, A., & Nakir, I. (2018). Effect of energy management of a grid connected photovoltaic/ battery/load system on the optimal photovoltaic placement on a national scale: The case of Turkey. *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, *140*(2). https://doi.org/10.1115/1.4039077

Costa, S. C. S., Diniz, A. S. A. C., & Kazmerski, L. L. (2016). Dust and soiling issues and impacts relating to solar energy systems: Literature review update for 2012-2015. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *63*, 33–61. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.059

Kaldellis, J. K., & Kapsali, M. (2011). Simulating the dust effect on the energy performance of photovoltaic generators based on experimental measurements. *Energy*, *36*(8), 5154–5161. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.018

Maghami, M. R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M. A., Rezadad, M. I., & Hajighorbani, S. (2016). Power loss due to soiling on solar panel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *59*, 1307–1316. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.044

Romero-Fiances, I., Muñoz-Cerón, E., Espinoza-Paredes, R., Nofuentes, G., & De La Casa, J. (2019). Analysis of the performance of various pv module technologies in Peru. *Energies*, *12*(1). https://doi.org/10.3390/en12010186

Ullah, A., Imran, H., Maqsood, Z., & Butt, N. Z. (2019). Investigation of Optimal Tilt Angles and Effects of Soiling on PV Energy Production in Pakistan. *Renewable Energy*, *139*, 830–843. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.114.

# MECHANICAL PROPERTIES OF STEAM CURED CONCRETE INCORPORATING QUARRY DUST

Didar Yasin NAJMADDIN

G. Directory of Projects/Ministry of Higher Education and Scientific Research-KRG/Iraq,

didar.najmaddin@mhe-krg.org

Ayşe Yeter GÜNAL

Civil Engineering Department, Gaziantep University, Turkey

agunal@gantep.edu.tr

**ABSTRACT**: Steam curing at atmospheric pressure is an important technique for obtaining high early strength values in concrete production. It also aids in faster and safer construction as sufficient strength is attained in short period and maintained without any other form of curing. Concrete type, as well as curing period and temperature, is an important parameter in the steam-curing process. The strength development depends on steam curing cycle. The parameters involved in a steam curing cycle include a delay period, a gradual increase to a temperature where it is to be maintained for a specific curing period followed by gradual cooling. Quarry dust has been identified as possible replacement for sand in concrete works. Crushed rock aggregate quarrying generates considerable volumes of quarry fines, often termed "quarry dust". The finer fraction is usually smaller than 5mm in size. In this study, samples of concrete were made using varying contents of quarry dust as fine aggregate. The quantity of quarry dust was varied from 0% to 60% against quarry dust at intervals of 10%. For each mix, specimens were standard-cured in a water bath of room temperature and steam-cured at 70◦C maximum temperature over 24 h. And the specimens tested for compressive and flexural strength of the concrete and the results were satisfactory.

**Keywords:** Compressive strength, Flexural strength, Steam curing, Quarry dust.

# A STUDY TO FABRICATE ENVIRONMENTALLY-FRIENDLY CONDUCTIVE TEXTILES

Burak SÖGÜT

Suleyman Demirel University Graduate School Of Natural And Applied Sciences

sogutburak93@gmail.com

Kerim YAPICI

Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Chemical Engineering Dept. Isparta

kerimyapici@sdu.edu.tr

Demet YILMAZ

Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Textile Engineering Dept. Isparta

demetyilmaz@sdu.edu.tr

**ABSTRACT**: It is a threat to both nature and human health because it causes pollution in the chemicals used in textile products and waste water. For this reason, materials that do not harm the ecosystem should be selected and such chemicals should be made legally mandatory. In this study, the effect of reduced graphene oxide nanosuppression on electrical conductivity, consisting of a single process instead of impregnation and reduction processes, which would cause less damage to the environment in terms of water consumption and waste formation, was examined.

**Key words:** Conductive textiles, conductive materials, pollution, graphene, reduced graphene oxide, nanomaterials

## ÇEVRE DOSTU İLETKEN TEKSTİLLERİN ÜRETİMİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA

**ÖZET:**

Tekstil ürünlerinde kullanılan kimyasal maddeler ile atık sularında kirliliğe neden olması sebebiyle hem doğaya hem de insan sağlığını tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle kullanılan kimyasalların ekosisteme zararı olmayan malzemeler seçilmeli ve bu tarz kimyasalların yasal olarak zorunlu hale getirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada da, emdirme ve indirgeme işlemleri yerine tek bir işlemden oluşan, su tüketimi ve atık oluşumu açısından çevreye daha az zarar oluşturacak indirgenmiş

grafen oksit nanosüspansiyon uygulamasının elektriksel iletkenliğe etkisi incelenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** İletken tekstiller, iletken malzemeler, grafen, indirgenmiş grafen oksit, çevre kirliliği, nanomalzemeler

## GİRİŞ

Teknolojinin hızla ilerlemesi ile birlikte insan ihtiyaçları çeşitlenerek artmış ve bu durum yeni ve pratik pek çok ürünün geliştirilmesini sağlamıştır. Tekstil sektöründe de bu ihtiyaçlara cevap verebilmek amacıyla değişik yapı ve özelliklerde malzemeler kullanılarak, çeşitli tekniklerle farklı yapılarda ürünlerin üretilmesine yönelik çalışmalar artmış ve sonuçta değişik yapı ve özellikte tekstil ürünleri üretilmeye başlanmıştır. Günümüzde özellikle elektronik ürünlere olan ilgi ve beraberinde kullanımın artması ile birlikte elektronik sistemlerle normal tekstil yapılarının bir araya gelmesi üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Bu özelliklerinden ötürü, "elektronik fonksiyonelliğe ve aynı zamanda da tekstil özelliklerine sahip malzemeler" elektronik tekstil olarak tanımlanmaktadır. Elektronik tekstillerin özellikle elektronik tıp adıyla sağlık, askeri, savunma alanları ile günlük yaşamda kullanımları dikkat çekmektedir. Mobil telefon veya mp3 çalarlar ile bağlantı kurarak müzik dinlemeye ve iletişim kurmaya olanak sağlayan giysiler, kalp atışlarını kontrol edebilen yatak çarşafları elektronik tekstillere verilebilecek örneklerdir. Elektronik bir tekstil yapısının elde edilebilmesi için öncelikle iletken özelliğe sahip lif, iplik veya kumaş yapısının elde edilmesi gerekmektedir. İletkenlik özelliğinin tekstil yapılarına kazandırılması için pek çok yöntem bulunmaktadır. Ancak, kolay bir proses olma ve tekstil endüstrisinde de uygulanabilme açısından emdirme ve kaplama yöntemleri bu yöntemler içerisinde yaygın kullanıma sahiptir. Bununla birlikte, iletkenliğin kazandırılması için gümüş, karbon tozu, karbon nanotüp, altın, bakır gibi iletken özelliğe sahip malzemeler kullanılmaktadır. Belirli düzeyde iletkenliğe sahip tekstil materyalleri ile elektronik tekstil örnekleri geliştirilmesine rağmen, ilk geliştirilen örneklerin hafiflik, yumuşaklık, esneklik, eğilme-bükülme gibi özellikler açısından yetersiz olma, yüksek maliyet gerektirme yanında yıkama, sürtme, eğme sonucunda iletkenlikte kayıp ve düşük stabilite gibi önemli problemleri bulunmaktadır. Bu nedenle, elektronik tekstil ürünler henüz yaygın kullanıma sahip değildir. Yüksek iletkenlik yanında elektriksel kararlılık, esneklik, hafiflik, kolay temin edilebilme ve endüstriyel proseslere uygunluk gibi özelliklere olan ihtiyaç sebebiyle farklı malzeme ve yöntemlerin geliştirilmesi konusunda çalışmalar yapılmaktadır. İletkenliğin tekstil malzemelerine kazandırılması için adı geçen yeni malzemeler içerisinde en dikkat çekenlerden biri de grafendir. Grafen, hekzagonal (bal peteği) kafes düzleminde düzenli karbon atomlarının sp2 hibritleşmesi yaptığı tek katmanlı bir yapıdır. İki-boyutlu (2D) ve tek atom kalınlığında olması ve kuvvetli bağ yapısı ile eşsiz moleküler bir yapı olan grafen, çok iyi elektrik, elektrokimyasal, optik, termal ve mekanik özelliklere sahiptir (Yazıcı vd., 2016; Ersoy vd., 2015).

Grafenin tekstil kumaşlarına uygulanması amacıyla yapılan çalışmalarda, Hummers metodu ile grafen oksit (GO) sentezlenmekte ve daha sonra emdirme yöntemi ile tekstil kumaşlarına aplike edilmektedir. Özellikle iletkenliğin arttırılması amacıyla grafen içerikli nanosüspansiyon tekstil kumaşlarına belirli sıcaklık ve sürede 1, 5, 10, 20, 40 gibi değişen sayılarda uygulanmakta ve kumaşlar belirli sıcaklık ve sürede kurutma işleminden geçirilmektedir. Emdirme-ön kurutma-kurutma işlemleri sonrasında, $NaBH_4$, $N_2H_4$, $C_6H_8O_6$, $Na_2S_2O_4$ ve NaOH gibi çeşitli indirgenler kullanarak indirgeme işlemi ve takiben yıkama, kurutma işlemleri yapılmaktadır. Emdirme, kurutma, indirgeme, yıkama ve kurutma gibi işlemlerden oluşan emdirme yöntemi, hem işlem maliyeti hem de su ve kimyasal madde tüketimi açısından yeterince çevreci değildir. Dolayısıyla, halen kolay uygulanabilir, ve su tüketimi, kimyasal atık oluşumu, kurutmadan kaynaklı enerji maliyeti gibi etkileri mümkün olduğunca azaltacak, düşük maliyetli üretim proseslerine ihtiyaç bulunmaktadır.

Bilindiği gibi, tekstil ürünlerinin özelliklerini geliştirmek için yıkama, boyama, yumuşatma, haşıl sökme vb. çeşitli terbiye işlemleri yapılmaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda tüketicinin tekstil ürünlerinden beklediği özellikleri karşılamak için fonksiyonel özelliklere yönelik çeşitli apre işlemleri yapılmaktadır. Yapılan bu işlemler, su, kimyasal madde tüketimini beraberinde getirmektedir. Günümüzde üretim yapan endüstrilerin su tüketimi ve atık su değerleri değerlendirildiğinde, tekstil sektörü 1000-5000 $m^3$/gün arasında değişen miktar ile en başta gelmektedir (Balcı, 2016). Atık su hacmine ve atılan su içerisinde bulunan kimyasal maddeler incelendiğinde, tekstil sektörü diğer sektörler bakımından çevre kirliliğinde en büyük kirletici durumunda olduğu ortaya çıkmaktadır (Vandevivere vd., 1998). Tekstil prosesleri içerisinde özellikle boyama, baskı ve apre gibi işlemlerden oluşan terbiye prosesi yüksek miktarda su tüketimi ve atık su oluşumuna neden olmaktadır. Bununla birlikte, elyaftan son ürüne kadar olan prosesler içerisinde son işlem olan terbiye prosesinde meydana gelen proses hatalarının düzeltilmesi için ekstra işlemlerin yapılması gerekmekte ve bu da terbiye işlemlerin su tüketimi ve kimyasal atık oluşumu açısından etkilerini daha da arttırmaktadır. Yapılan araştırmalarda, 1 kg tekstil ürünü için 40 L atık suyun oluştuğu belirlenmiştir. Atık suların içerisinde; yumuşatıcı malzemeler, Pentaklorofenoller, Etilklorofosfatlar vb. toksik bileşenler, nişasta, sentetik reçine, $NH_4^+$ ve $ZnCl_2$ gibi çeşitli kimyasallar, asit ağır metaller, pigmentler, tuzlar, ağır metaller ve boyalar bulunmaktadır (Biroğlu, 2012). Bu maddeler içerisinde spesifik iyonlar, yağ ve hidrokarbonlar, Cl iyonu, fenol bileşikleri toprakta ciddi sorun yaratabilecek kimyasal atıklardır. Tekstil su atıklarının kirletici içeriğine bakıldığında, atık suyun biyolojik oksijen miktarı 80- 6000 mg/L, kimyasal oksijen miktarı 150- 12000 mg/L, toplam klor miktarı 1000- 1600 mg/L, toplam askıda kalan katı madde 15- 8000, toplam çözünmüş katı madde 2900- 3100 mg/L ve atık sudaki renk miktarı 50- 2500 Pt- Co olarak tespit edilmiştir (Arslan vd., 2016). Atık suların içerdiği kimyasal maddelerin yeraltı ve yer üstünde yaşayan her türlü biyolojik canlılar üzerinde oluşturduğu tehditleri yanında temiz su kaynakları, hava, toprak gibi canlı hayatının yapıtaşlarına olan olumsuz etkileri nedeniyle atık su oluşumunun azaltılması ve oluşan atık suyun da filtrelenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, günümüzde tekstil başta olmak üzere her türlü endüstri dalında canlılar ve çevre ile

daha dost teknolojilerin kullanılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Daha çevreci malzeme ve yöntemler kullanılmalıdır.

Son yıllarda iletken tekstil üretiminde, gümüş vb. metalik nanopartiküller, karbon nanotüp, karbon tozu ve grafen tabanlı nanomalzemeler kullanılmaktadır. Grafen sentezlenmesinde, uygulanan iki ana yöntem bulunmaktadır. Bunlar sırası ile tabandan tepeye; kimyasal buhar depolama (CVD), SiC üzerinde epitaksiyel büyüme, ark boşalması vb. ve tepeden tabana; grafit oksitin kimyasal eksfoliasyonu ve grafitin ultrasonik ve/veya mekanik parçalayıcılı karıştırıcı yardımı ile sıvı faz eksfoliasyon prosesleridir. Tabandan tepeye prosesler ile yüksek saflıkta, yapısal düzenli, kırışıklıklardan bağımsız ve geniş alanlı grafen eldesi mümkün olmasına karşın, kütlesel ölçekte üretilmesi oldukça maliyetlidir. Buna karşın, tepeden tabana yöntemler ile düşük maliyette ve geniş ölçekte grafen üretilme potansiyeli daha yüksektir.Grafit oksitin eksfoliasyonu/indirgenmesi, diğer üretim yöntemleri ile kıyaslandığında basit ve düşük maliyette oluşu potansiyel olarak ölçeklendirilebilir olmasına olanak sağlamaktadır (Zhong vd., 2015).

Grafenin tekstil malzemelerinin elektriksel iletkenliğin arttırılması amacıyla genellikle Hummers metodu ile elde edilen ve çeşitli konsantrasyonlarda hazırlanan grafen oksitin (GO) tekstil kumaşlarına emdirilmekte, ön kurutma ve kurutma işlemleri sonrasında $NaBH_4$, $N_2H_4$, $C_6H_8O_6$, $Na_2S_2O_4$ ve NaOH gibi çeşitli indirgenler kullanarak indirgeme işlemi yapılmaktadır. Kimyasal indirgeme işlemi kompleks olduğu gibi yüksek miktarda kimyasal madde ve su tüketimi yanında kullanılan kimyasal maddelerin toksit olması nedenleriyle çevreyle dost değildir (Javed vd., 2014; Cai vd., 2017). Bununla birlikte, kimyasal indirgeme sonrasında yapılan kurutma işlemleri, son ürünün özelliklerini olumsuz etkileyebilmektedir (Javed vd., 2014). Bu nedenle, çevre ile dost, tehlikeli kimyasal maddeleri içermeyen, tek adımlı üretim proseslerine ihtiyaç bulunmaktadır (Javed vd., 2014; Ramadoss vd., 2015; Woltornist vd., 2015; Cai vd., 2017; Karim vd., 2017). Bu çalışmada da, emdirme ve indirgeme işlemleri yerine tek bir işlemden oluşan ve su tüketimi ve atık oluşumu açısından çevreye daha az yük oluşturacak bir grafen uygulamasının elektriksel iletkenliğe etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, indirgenmiş grafen oksit (rGO) kullanılarak indirgeme işleminin elimine edilmiştir.

## YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında indirgenmiş grafen oksit (rGO) nanosüspansiyonu, viskon ipliklerine aplike edilmiş ve elektriksel iletkenlik özelliğindeki değişim incelenmiştir. rGO'nun ipliklere uygulanabilmesi için tekstil sektöründe de kullanabilmek açısından tekstil işletmelerinde kullanılan bobin boyama yöntemi tercih edilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, viskon iplikleri bir bobin üzerine sarılmıştır. Hazırlanan bobin ve rGO bir tüp içerisine konulmuştur. Uygulama sırasında rGO nanosüspansiyonun tüm ipliklere uygulanabilmesi için tüp Gyrowash numune yıkama makinasına yerleştirilerek nanosüspansiyonun hareket etmesi sağlanmıştır. Daha sonra, tekstil

işletmelerinde kullanılan viskon ipliği bobin boyama işlem şartları esas alınarak, 60 °C'de 30 dakika viskon ipliğinin rGO nanosüspansiyonu ile muamele etmesi sağlanmıştır. Uygulama sonrasında bobinler oda sıcaklığında 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Çalışmada ayrıca, tekstil ürünlerin kullanımları sırasında yapılan yıkama işleminin elektriksel iletkenlik özelliğine etkisini belirlemek amacıyla bobinler 49 °C'de 90 dakika yıkanmıştır. Söz konusu yıkama şartları, 10 yıkamaya eşdeğer olarak kabul edilmektedir. İpliklerin elektriksel iletkenlik özelliği iki-uç nokta yöntemiyle multimetre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, ölçüm sonucunda iletkenliğin tersini ifade eden direnç değerleri elde edilmiştir. Direnç değeri azaldıkça, iletkenlik artmaktadır. Direnç ölçümleri 10 defa tekrarlanıp ortalama değer alınmıştır.

(a) (b)

**Şekil 1. rGO nanosüspansiyon uygulanmamış (a) ve uygulanmış (b) viskon iplik bobin görüntüleri**

## BULGULAR

Bobin boyama işlemi ile indirgenmiş grafen oksit (rGO) nanosüspansiyon aplike edilen viskon ipliklerin elektriksel iletkenlik özelliğini sembolize eden elektriksel direnç değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Direnç değerleri incelendiğinde, bobin boyama işlemi sonrasında ipliklerin 248 kilo.ohm seviyesinde direnç değerine sahip olduğu ve yıkama işlemi sonrasında ipliklerin direnç değerinin 1170 kilo.ohm'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuç, 10 yıkama sonrasında bile ipliklerin iletkenlik özelliğini halen sağladığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 1. Emdirme İşlemi ve Yıkama Sonrası Elektriksel Direnç Değerleri**

| | **Yıkama öncesi** | **Yıkama sonrası** |
|---|---|---|
| **Direnç (MΩ)** | 0,248 | 1,17 |

## ÖNERİLER

Çalışmada, tek adımlı bir proses ile elde edilen indirgenmiş grafen oksit (rGO) kullanılarak daha çevreci bir prosesden oluşan uygulama ile belirli düzeyde iletkenliğe sahip iplik üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ipliklerin ve bu ipliklerden elde edilen tekstil kumaşlarının performans özelliklerinin de incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca, elde edilen iplikler elektronik cihazların neden olduğu elektromanyetik dalgalara karşı koruyucu tekstil ürünlerinde kullanımı mümkün olmakla birlikte sensör, enerji depolama gibi farklı kullanımlar için elektriksel iletkenlik özelliğinin iyileştirilmesi konusunda çalışmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: 7354.

## KAYNAKLAR

Arslan, S., Eyvaz, M., Gürbulak, E., Yüksel, E. (2016). *A Review of State-of-the-Art Technologies in Dye-Containing Wastewater Treatment – The Textile Industry Case*, E. Kumbasar, A. Korlu (Eds.), Textile Wastewater Treatment. Retrieved from https://www.intechopen.com/books/textile-wastewater-treatment/a-review-of-state-of-the-art-technologies-in-dye-containing-wastewater-treatment-the-textile-industr

Balcı, E (2016). *Tekstil atık sularının membran proseslerle arıtımı ve endüstriyel su geri kazanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze

Biroğlu, N. (2012). *Bir tekstil atık suyunun koagülasyon – flokülasyon – membran filtrasyon süreçleri ile arıtılabilirliğinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Cai, G., Xu, Z., Yang, M., Tang, B., Wang, X. 2017. '*Functionalization of Cotton Fabrics Through Thermal Reduction of Graphene Oxide', Applied Surface Science,* 393, 441-448.

Ersoy M.S., Dönmez U., Yildiz K., Salan T., Yazici M., Tiyek İ., Alma M.H., (2015), *Graphene Applied Textile Materials for Wearable E-Textiles, 5th International Istanbul Textile Congress 2015: Innovative Technologies "Inspire To Innovate, pp. 82-86, 11th -12th September 2015, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.*

Javed, K., Galib, C. M. A., Yang, F., Chen, C. M., Wang, C. 2014. '*A New Approach to Fabricate Graphene Electro-Conductive Networks on Natural Fibers by Ultraviolet Curing Method', Synthetic Metals*, 193, 41-47.

Karim, N., Afroj, S., Tan, S., He, P., Fernando, A., Carr, C., Novoselov, K. S. 2017. '*Scalable Production of Graphene-Based Wearable E-Textiles', ACS Nano*, 11(12), 12266-12275.

Ramadoss, A., Saravanakumar, B., Kim, S. J. 2015. *'Thermally Reduced Graphene Oxide-Coated Fabrics for Flexible Supercapacitors and Self-Powered Systems', Nano Energy,* 15, 587-597.

Vandevivere P.C., Bianchi R., Verstrate W., (1998), *"Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet Processing Industry: Review of Emerging Technologies", Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 72(4)*, 289-302.

Woltornist, S. J., Alamer, F. A., McDannald, A., Jain, M., Sotzing, G. A., & Adamson, D. H. 2015. *Preparation of conductive graphene/graphite infused fabrics using an interface trapping method. Carbon*, 81, 38-42.

Yazıcı, M., Tiyek, İ., Ersoy, M. S., Alma, M. H., Dönmez, U., Yıldırım, B., Salan, T., Karataş, Ş., Uruş, S., Karteri, İ., ve Yıldız, K., (2016), *Modifiye Hummers Yöntemiyle Grafen Oksit (GO) Sentezi ve Karakterizasyonu, Gazi Üniversitesi Journal of Science Part C*, 4(2), 613-623.

Zhong, Y. L., Tian, Z., Simon, G. P., Li, D. 2015. *Scalable Production of Graphene Via Wet Chemistry: Progress and Challenges, Materials Today*, 18(2), 73-78.

# STOCHASTIC CHINESE POSTMAN PROBLEM AND AN APPLICATION

Özlem ÇOMAKLI SÖKMEN, Erzurum Technical University, ozlem.sokmen@erzurum.edu.tr

Mustafa YILMAZ, Ataturk University, mustafay@atauni.edu.tr

**ABSTRACT**: Arc routing problems are problems used to determine the shortest path or paths returning to the starting vertex by traversing all arcs or edges on a graph at least once. Chinese Postman Problem (CPP), one of the arc routing problems; can be defined as the problem of returning to the starting point after a postman traverses all connections on the defined network. Since various factors such as weather conditions, traffic density, traffic accidents, construction and repair works change the arrival time between the two vertices, CPP was applied on a sample problem with a chance constrained stochastic programming approach in this study. In this study, the objective function coefficients are considered as random variables. The mathematical model formed was solved by using GAMS programming language.

**Key words:** stochastic chinese postman problem, arc routing problem, chance constrained programming

# STOKASTİK ÇİNLİ POSTACI PROBLEMİ VE BİR UYGULAMA

**ÖZET:** Ayrıt rotalama problemleri, bir çizge üzerinde yer alan tüm ayrıtlardan en az bir kere geçilerek başlangıç düğümüne dönen en kısa yol veya yolların belirlenmesinde kullanılan problemlerdir. Ayrıt rotalama problemlerinden biri olan Çinli Postacı Problemi (CPP) ise; tanımlanan ağ üzerindeki tüm bağlantıların bir postacı tarafından ziyaret edilerek, başlangıç noktasına dönülmesi problemi olarak tanımlanabilir. Hava koşulları, trafik yoğunluğu, trafik kazaları, yapım ve onarım çalışmaları gibi çeşitli etkenler iki düğüm arasındaki varış süresini değiştirdiğinden dolayı bu çalışmada bir örnek problem üzerinde üzerinde şans kısıtlı stokastik programlama yaklaşımı ile CPP uygulanmıştır. Çalışmada amaç fonksiyonu katsayıları rasgele değişkenler olarak ele alınmıştır. Oluşturulan matematiksel model GAMS programlama dili kullanılarak çözüme ulaştırılmıştır.

**Anahtar sözcükler:** stokastik çinli postacı problemi, ayrıt rotalama problemi, şans kısıtlı programlama

## GİRİŞ

Çinli Postacı Problemi (CPP) ilk kez 1962 yılında Mei-Ko Kwan tarafından incelenmiştir. Problemde bir postacının postaneden aldığı mektupları mümkün olan en kısa yoldan (Euler tur) şehrin tüm caddelerine dağıtması ve bu işlemden sonra postaneye geri dönmesi amaçlanmaktadır. (Ahujava vd., 1993, Eiselt v.d., 1995a). ÇPP; çöplerin toplanması, sokakların temizlenmesi, su ve gazete dağıtımı, mektup dağıtımı, cadde ve otobanlarda kar ve buz kontrolleri, okul servisleri ve polis devriye araçlarının rotalanması, kar temizleme çalışmaları ve etkili web sitesi kullanılabilirliğinin tespiti gibi birçok alanda kullanılabilmektedir (Thimbleby, 2002).

Deterministik araç rotalama probleminin bazı elemanları rassal olduğunda gerçek hayat problemlerine daha yakın olan Stokastik Araç Rotalama Problemi (SARP) ortaya çıkmaktadır. Rassal elemanlar ziyaret edilecek müşteri kümesi, müşteri talepleri veya müşteriler arasındaki seyahat zamanları olabilir (İşleyen 2008). Gerçek hayat problemlerinde iki merkez arasındaki ulaşım süresi hava koşulları, trafik yoğunluğu, trafik kazaları gibi çeşitli nedenlerden ötürü büyük ölçüde değişmektedir. Bu nedenle bu çalışmada iki düğüm arasındaki varış süresini temsil eden amaç fonksiyonu katsayıları normal dağılıma sahip rassal değişkenler olarak ele alınmış ve problem şans kısıtlı stokastik programlama kullanılarak çözüme kavuşturulmuştur. İlgili literatür incelendiğinde daha önce Stokastik Çinli Postacı Problemi (SCPP) ile ilgili bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Literatürde SARP üzerine yapılan çalışmaların bir kısmı ise Tablo 1'de özetlenmiştir.

**Tablo 1. Literatür Araştırması**

| Yazar(lar) ve Yayın Yılı | Problem Tipi | Çözüm Yöntemi |
|---|---|---|
| Gendreau *et al.* (1996) | Stokastik Müşteri ve Talepli ARP | Tabu Arama Algoritması |
| Hvattum *et al.* (2004) | SARP | Sezgisel Algoritma |
| Frazolli and Bullo (2004) | SARP | Dağınık Algoritmalar |
| Mak and Guo (2004) | Stokastik Talepli ve Esnek Zaman Kısıtlı ARP | Genetik Algoritma |
| Chepuri and Homem-De-Mello (2005) | Stokastik Talepli ARP | |

| | | |
|---|---|---|
| | | Sezgisel Algoritma |
| Bianchi *et al.* (2006) | Stokastik Talepli ARP | Metasezgisel |
| İşleyen (2008) | Stokastik Talepli ARP | Sezgisel Algoritma |
| Shen *et al*. (2009) | SARP | Tabu Sezgiseli |
| Li *et al.* (2010) | Zaman Pencereli, Stokastik Seyehat ve Servis Süreli ARP | Tabu Sezgiseli |
| Taş *et al.* (2014) | Zaman Pencereli ve Stokastik Seyehat Süreli ARP | Markov Karar Süreçleri |
| Miranda and Conceição (2016) | Zaman Pencereli, Stokastik Seyehat ve Servis Süreli ARP | Metasezgisel |

## YÖNTEM

### Şans Kısıtlı Stokastik Programlama

Rassal parametrelere sahip bir problemde kısıtların belirli dağılımlara ait olasılık seviyelerinin izin verdiği ölçüde bozulmasına olanak sağlayan stokastik programlamaya şans kısıtlı programlama denir. Problemin stokastik yapısı doğrusal kısıtın beklenen değeri ve kısıtın bozulma genişliği ile birleştirilerek deterministik hale getirilir ve simpleks yöntemle çözülebilir (Sawyer and Lin 1998). Şans kısıtlı doğrusal programlama modeli,

$$\text{maks(min)}Z(x) = \sum_{j=1}^{n} c_j \,.\, x_j$$

$$P\left[\sum_{j=1}^{n} a_{ij}.\, x_j \le b_i\right] \le 1 - u_i, \quad i = 1, 2, 3, \ldots\ldots, m \qquad (1)$$

$$u_i \in (0,1) \qquad i = 1, 2, 3, \ldots\ldots, m$$

şeklinde tanımlanır. $c_j$, $a_{ij}$ ve $b_i$ model parametreleridir ve bunlardan en az bir tanesi rassal değişkenlerdir. Modelde $u_i$ önceden belirlenen olasılıkları göstermektedir ve $x_j$ karar değişkenleri deterministik yapıdadır (Taha 2000). Modeldeki stokastik parametreler belirli bir dağılıma sahip olmalı ve $u_i$ olasılık seviyeleri belirlenmelidir. Bu bilgilerle model deterministik hale getirilerek çözülmektedir. (Aksaraylı ve Pala 2015).

***Katsayıları Normal Dağılıma Sahip Rasgele Değişkenler Olan Şans Kısıtlı Modeller***

Katsayıları rassal değişken olan doğrusal programlama problemlerinde, genellikle katsayıların normal dağılım özelliği gösterdiği varsayılmaktadır. Bu varsayım altında (1) modeli ile verilen şans kısıtlı stokastik doğrusal programlama probleminde $c_j$, $a_{ij}$ ve $b_i$'ler normal dağılım özelliği gösteren rasgele değişkenlerdir.

Katsayıları normal dağılım özelliği gösteren şans kısıtlarının belirlenmesi

1) Yalnız $a_{ij}$ katsayıları rasgele değişken,
2) Yalnız $b_i$ katsayıları rasgele değişken,
3) Yalnız $c_j$ katsayıları rasgele değişken,
4) $a_{ij}$ ve $b_i$ katsayılarının her ikisi de rasgele değişken,

şeklinde dört durum ile incelenebilir. Bu dört durum kullanılarak diğer durumlar bulunabilir. (Hulsurkar *et al.*1997).

Bu çalışmada iki düğüm arasındaki varış süresini temsil eden amaç fonksiyonu katsayıları ($c_j$) rasgele değişken olarak ele alındığı için bu bölümde üçüncü durum üzerinde durulmuştur.

***Durum 3: Yalnız $c_j$ Katsayıları Rasgele Değişken ise;***

$c_j$ katsayıları normal dağılıma sahip rasgele değişkenler olduğundan z (x), amaç fonksiyonu da normal dağılım özelliği gösterecektir. z (x)'in ortalaması,

$$E\big(z\,(x)\big) = \sum_{j=1}^{n} (c_j)\, x_j \qquad (2)$$

olacaktır. Böylece E-modele (beklenen değer modeline) sahip deterministik amaç fonksiyonu;

$$\text{maks (min) } E\big(z(x)\big) = \sum_{j=1}^{n} c_j \,.\, x_j \qquad (3)$$

biçimine dönüşecektir (Hulsurkar *et al.* 1997).

**Stokastik Çinli Postacı Problemi**

CPP, tanımlanan ağ üzerinden tüm bağlantıların; tek bir postacı tarafından, mektupların dağıtılıp toplanması için ziyaret edilerek, başlangıç noktasına dönmesi problemi olarak tanımlanabilir. Bu problem türünde iki düğüm arasındaki varış süresini gösteren amaç fonksiyonu katsayı değerleri rasgele değişken olarak ele alındığında problem SCPP'ye dönüşmektedir. Problemde rassallığı oluşturan amaç fonksiyonu katsayılarının normal dağıldığı kabul edilmektedir.

Bir G = (V, E) grafı ele alındığında; ayrıt (i, j) i ve j düğümleri arasında bir bağlantı kurmaktadır. CPP için matematiksel model, parametre ve değişkenler aşağıda sunulmuştur (Yılmaz *et al.* 2017). Bu modelde amaç fonksiyonu katsayılarının beklenen değerleri alınarak, amaç fonksiyonu deterministik hale dönüştürülmüştür. Böylece model; beklenen değer modeline sahip deterministik amaç fonksiyonlu SCPP modeline dönüşmüştür.

Parametre ve değişkenler;

$x_{ij}$ = *i'* den *j'* ye giderken (*i,j*) ayrıtından geçilme sayısı,

$x_{ji}$ = *j'* den i' ye giderken (*j,i*) ayrıtından geçilme sayısı,

$C_{ij}$ = (*i,j*) ayrıtının uzunluğu,

*V* = Şebekedeki tüm düğümlerin kümesi,

*E* = Şebekedeki tüm ayrıtların kümesi,

*n* = Şebekedeki toplam düğüm sayısı.

$$\text{Min } E\big(z(x)\big) \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}\, x_{ij} \qquad (4)$$

Kısıtları altında,

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} - \sum_{j=1}^{n} x_{ji} = 0 \qquad i = 1,2,\dots,n \qquad \forall_i \in V \tag{5}$$

$$x_{ij} + x_{ji} \geq 1 \qquad \forall(i,j) \in E \tag{6}$$

$$x_{ij}, x_{ji} \geq 0 \quad \text{ve tamsayı.} \tag{7}$$

(4), en kısa uzunluğu hedefleyen beklenen değer modeline sahip deterministik amaç fonksiyonunu; (5), akışı sağlayan süreklilik kısıtlarını, (6) her bir ayrıttan herhangi bir yönde en az bir kez geçilmesi gerektiğini; (7) nolu kısıt ise, tüm değişkenlerin pozitif tamsayı olması gerektiğini belirtmektedir.

**Uygulama**

Bu çalışmada 7 düğümlü bir SCPP ele alınmıştır. Hava koşulları, trafik yoğunluğu, trafik kazaları, yapım ve onarım çalışmaları gibi etmenler iki düğüm arasındaki varış süresini değiştirdiğinden dolayı amaç fonksiyonunda mesafe yerine süreler kullanılmıştır. Trafiğin durumuna göre önceden belirlenen aralıklarda rassal sayılar üretilmiş ve beklenen değerleri alınmıştır. ARENA 9.0 programının "Input Analyzer" sekmesi kullanılarak amaç fonksiyonu katsayıları değerlerinin normal dağılıma uyduğu tespit edilmiştir. Böylece $c_j$ amaç fonksiyonu katsayıları; normal dağılıma uygun rasgele değişkenler olarak ele alınmış, beklenen değer modeline sahip deterministik amaç fonksiyonu elde edilerek modele eklenmiştir. Problemde her ayrıttan en az bir kez geçilerek en kısa turun oluşturulması amaçlanmıştır. Örnek problemin matematiksel modeli aşağıda verilmiştir.

$$\text{Min } E(z(x)) = 13.1x_{12} + 5.92x_{13} + 21.7x_{15} + 13.1x_{21} + 7.65x_{23} + 14.5x_{24} + 21.8x_{25} + 5.92x_{31} + 7.65x_{32} + 11.5x_{34} + 19.8x_{37} + 14.5x_{42} + 11.5x_{43} + 11.1x_{45} + 5.3x_{46} + 21.7x_{51} + 21.8x_{52} + 11.1x_{54} + 7.88x_{56} + 5.3x_{64} + 7.88x_{65} + 8.86x_{67} + 19.8x_{73} + 8.86x_{76}$$

Kısıtları altında

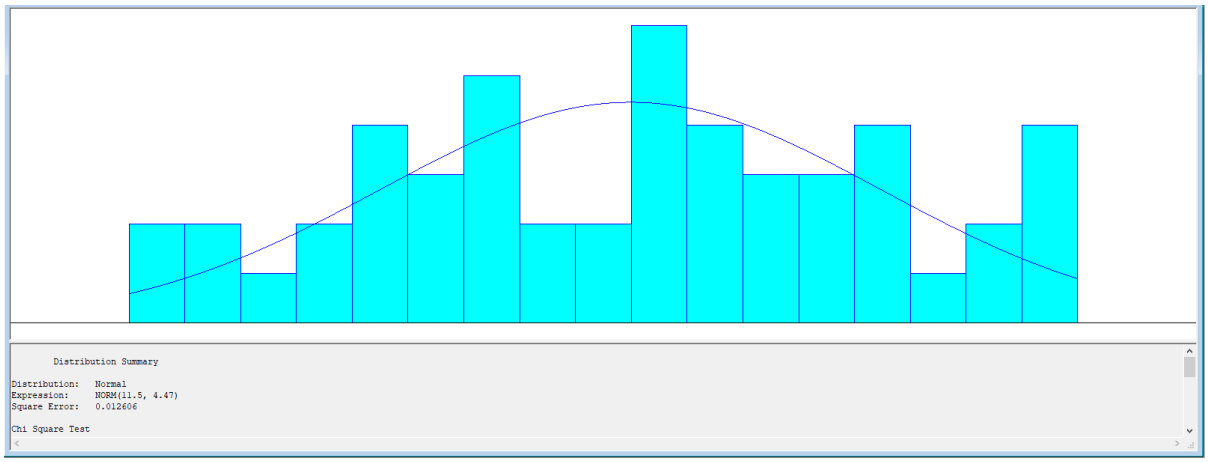
$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} - \sum_{j=1}^{n} x_{ji} = 0 \qquad i = 1,2,\dots,n \qquad \forall_i \in V$$

$$x_{ij} + x_{ji} \geq 1 \qquad \forall(i,j) \in E$$

$$x_{ij}, x_{ji} \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

## BULGULAR

Bu çalışmada; iki düğüm arasındaki varış süresini temsil eden, amaç fonksiyonu katsayıları olan rassal değişkenlerin dağılımını bulmak için ARENA 9.0 programının "Input Analyzer" modülü kullanılmıştır. Şebekede bulunan tüm yollar için elde edilen varış sürelerinin genel olarak (0.96 – 0.99 güven düzeyinde) normal dağılım özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. Örnek olarak (3-4) yolu için ARENA 9.0 programının "Input Analyzer" modülünden elde edilen normal dağılıma uygunluk grafiği Şekil 1'de gösterilmiştir. (3-4) yolu için varış süresinin 0.99 güven düzeyinde normal dağılıma uyduğu tespit edilmiş ve bu yol için varış süresinin ortalaması (μ) 11.5 ve standart sapması (σ) 4.47 olarak bulunmuştur.




**Şekil 1. (3-4) Yolu Normal Dağılıma Uygunluk Grafiği**

GAMS Programında problem çözülerek optimum rota ve süre bulunmuştur. Optimum rota: R = 1–3–4–2–3–7–6–4–5–2–1–5–6–4–3–1 ve amaç fonksiyonu değeri Min E(z(x)) =171.830 olarak bulunmuştur.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçek hayat problemlerinin birçoğunda veriler tam olarak bilinemediği için belirsizlik söz konusu olmakta ve bu sebepten ötürü katsayılar rasgele değişken olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada amaç fonksiyonu katsayıları rasgele değişkenler olan SCPP ele alınmıştır. Gerçek hayat problemlerinde iki düğüm arasındaki varış süresi çeşitli sebeplerden dolayı sabit olmadığı için amaç fonksiyonunda mesafe yerine süreler kullanılmıştır. ARENA 9.0 programının "Input Analyzer" modülü kullanılarak bu katsayıların normal dağılıma uyduğu belirlenmiştir. E-modele sahip

deterministik amaç fonksiyonu eklenerek model çözüme kavuşturulmuştur. İlgili literatür incelendiğinde daha önce SCPP ile ilgili bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Rotalama problemleri için harcanan paralar ve yanlış planlamalardan kaynaklı israflar göz önünde bulundurulduğunda bu alanda yapılan çalışmaların önemi görülmektedir. Gelecek çalışmalarda, CPP'nin farklı türlerinda amaç fonksiyonu katsayıları rasgele değişkenler olarak ele alınarak gerçek hayat problemlerine uygulanabilir. Ayarıca rasgele değişkenler olan katsayıların farklı dağılıma sahip olması durumu ele alınarak problem yeniden çözülebilir.

**KAYNAKLAR**

Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., Orlin, J. B., & Weihe, K. (1995). Network flows: theory, algorithms and applications. *ZOR-Methods and Models of Operations Research*, *41*(3), 252-254.

Aksaraylı, M., & Pala, O. (2015). Şans Kısıtlı Stokastik Programlama Yaklaşımı İle Ofis Ürünleri Üretim Sistemi Modellemesi. *15. Üretim Araştırmaları Sempozyumu.*

Bianchi, L., Birattari, M., Chiarandini, M., Manfrin, M., Mastrolilli, M., Paquete, L., ... & Schiavinotto, T. (2006). Hybrid metaheuristics for the vehicle routing problem with stochastic demands. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, *5*(1), 91-110.

Chepuri, K., & Homem-De-Mello, T. (2005). Solving the vehicle routing problem with stochastic demands using the cross-entropy method. *Annals of Operations Research*, *134*(1), 153-181.

Eiselt, H. A., Gendreau, M., & Laporte, G. (1995). Arc routing problems, part I: The Chinese postman problem. *Operations Research*, *43*(2), 231-242.

Frazzoli, E., & Bullo, F. (2004, December). Decentralized algorithms for vehicle routing in a stochastic time-varying environment. In *2004 43rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC)(IEEE Cat. No. 04CH37601)* (Vol. 4, pp. 3357-3363). IEEE.

Gendreau, M., Laporte, G., & Séguin, R. (1996). Stochastic vehicle routing. European Journal of Operational Research, 88(1), 3-12.

Hulsurkar, S., Biswal, M.P. ve Sinha, S.B. (1997). Fuzzy Programming Approach to Multi-Objective Stochastic Linear Programming Problems. *Fuzzy Sets and Systems 88*,173-181.

Hvattum, L. M., Lokketangen, A., & Laporte, G. (2004). A heuristic solution method to a stochastic vehicle routing problem. In Proceedings of TRISTAN V—The Fifth Triennial Symposium on Transportation Analysis.

İşleyen, S. K. (2008). *Lojistik Yönetim Sistemlerinde Stokastik Talepli Araç Rotalama Problemi* (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara).

Li, X., Tian, P., & Leung, S. C. (2010). Vehicle routing problems with time windows and stochastic travel and service times: Models and algorithm. *International Journal of Production Economics*, *125*(1), 137-145.

Mak, K. L. ve Guo, Z. G. (2004), "A Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problems with Stochastic Demand and Soft Time Windows", Proceedings of the 2004 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium, Virginia, USA.

Miranda, D. M., & Conceição, S. V. (2016). The vehicle routing problem with hard time windows and stochastic travel and service time. *Expert Systems with Applications*, *64*, 104-116.

Sawyer, C. S., & Lin, Y. F. (1998). Mixed-integer chance-constrained models for ground-water remediation. *Journal of water resources planning and management*, *124*(5), 285-294.

Shen, Z., Ordónez, F., & Dessouky, M. M. (2009). The stochastic vehicle routing problem for minimum unmet demand. In *Optimization and logistics challenges in the enterprise* (pp. 349-371). Springer, Boston, MA.

Taha, H.A. (2000).Yöneylem Araştırması, 1.basım, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

Taş, D., Gendreau, M., Dellaert, N., Van Woensel, T., & De Kok, A. G. (2014). Vehicle routing with soft time windows and stochastic travel times: A column generation and branch-and-price solution approach. *European Journal of Operational Research*, *236*(3), 789-799.

Thimbleby, H. (2003). Explaining code for publication. *Software: Practice and Experience*, *33*(10), 975-1001

Yılmaz, M., Çodur, M. K., & Yılmaz, H. (2017). Chinese postman problem approach for a large-scale conventional rail network in Turkey. *Tehnički vjesnik*, *24*(5), 1471-1477.

# DETERMINATION OF OPTIMUM TIGHTENING TORQUE FOR TIE ROD WITH SPECIAL CONNECTION TYPES

Emre Azim HASANOĞLU

ZF Lemförder Aks Modülleri San. Tic. A.S.

emre.hasanoglu@zf.com

Buğra Yiğit ÇETİN

ZF Lemförder Aks Modülleri San. Tic. A.S.

bugra.cetin@zf.com

İlker CANBAZ

ZF Lemförder Aks Modülleri San. Tic. A.S.

ilker.canbaz@zf.com

**ABSTRACT**: Tie rod is the part of the steering mechanism in a vehicle. It provides the mechanical connection between knuckle and steering rack. Tie Rods consist of two different components which are called as Inner Tie Rod and Outer Tie Rod. During a conventional Tie Rod assembly, these two components are fastened each other with nut to transfer the applied loads from steering gear to the wheel. For this reason, the tightening torque regulations play important role to ensure the safety and sustainability of the connection. Differently from the most common connection type which is assemblied with the nut, some of car manufacturers demands the special type of connection between Inner Tie Rod and Outer Tie Rod because of their assembly process. Therefore, it is crucial to identify the suitable tightening regulations for connection type mentioned. In this study, the optimum tightening torque is determined by using an experimental and numerical methods. At first, the special connection type is evaluated with the standard nut tightening regulation. The experimental investigation shows that the standard tightening torque value does not comply with special connection type. Therefore, the numerical simulations are performed to define the optimum tightening torque. For this purpose, nonlinear structural finite element analysis method is developed to simulate the special connection screwing process. HyperMesh, Abaqus and HyperView are used for finite element analysis. Stress dispersion and the amount of plastic deformation especially on the thread area of special connection are evaluated by considering different tightening torque values. The defined torque value from numerical study is validated with tightening test experimentally. Consequently, optimum tightening torque which ensures safety and durability for the steering system is identified.

**Key words:** Steering Components, Tie Rod, Tightening Torque, Vehicle Safety

# FALL-CONE TESTS ON A CLAYEY SOIL TREATED WITH ROCK POWDER-SEWAGE SLUDGE ASH MIXTURES

Yunus UÇUR, Ali Fırat ÇABALAR

Department of Civil Engineering, University of Gaziantep

ucuryunus@gmail.com, cabalar@gantep.edu.tr

**ABSTRACT**: The study presents a series of fall-cone tests on a clayey soil treated with rock powder and sewage sludge ash mixtures. The clay used during the tests were obtained from the University of Gaziantep campus, and was found to have 34.22% liquid limit, 28.32% plastic limit, and 5.90% plasticity index, respectively. The fall cone results on the clean clay was compared with the results on the mixtures with different proportions. According to results obtained from the fall-cone tests, the plasticity index of the mixtures were found to be less than the clean clay samples by addition of the wastes. For example, plasticity index values are 3.19% and 3.61% for the mixtures of 15% rock powder-clayey soil and 15% sewage sludge ash-clayey soil, respectively. Undrained shear strength parameter was also calculated during the study. Maximum undrained shear strength value of the clean clay was found to be 2.945 kPa at a moisture content of 31.81%. Considering all the mixtures, the clay with 20% rock powder, and the clay with 15% sewage sludge ash had the greatest undrained shear strength values, which were 16.337 kPa and 13.971 kPa respectively.

**Keywords***:* fall-cone test, clay, sewage sludge ash, rock powder.

## INTRODUCTION

In recent years, use of solid wastes have been studied by many researchers in order to minimize the environmental problems raised due to the greenhouse gas emission, clean air and water requirements. One of the application areas for different solid wastes generated in urban and industry transformation projects is civil engineering including geotechnical engineering discipline. For example, the clay described as a problematic soil could be improved by using various types of solid wastes (Cabalar et al., 2016).

While there are numerous investigations focusing on the use of recycled asphalt shingles, crushed concrete aggregates, crushed ceramic and bricks only in various

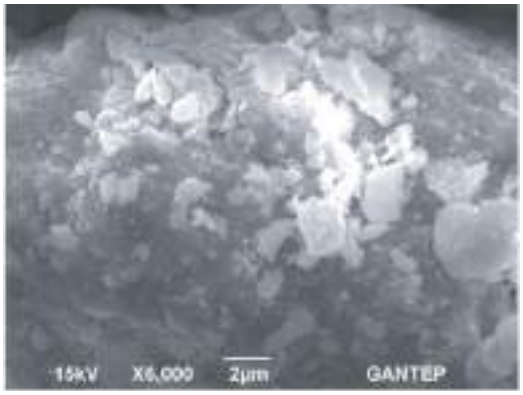
geotechnical applications (Warner and Edil, 2012; Zhu et al., 2012; Cabalar and Karabash, 2015), the performance of clay soils using both rock powder and sewage sludge ash has not been previously reported. Therefore, the present study aims to investigate the effects of these waste materials on the response of a clay tested in British fall cone testing apparatus.

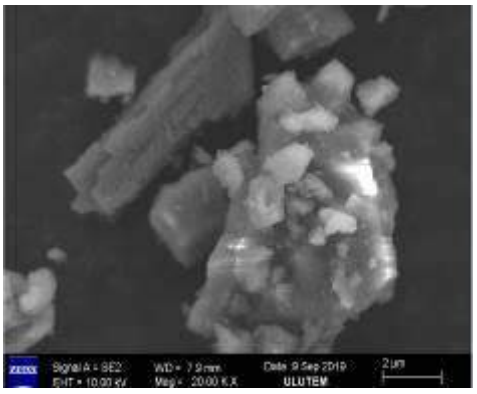
## EXPERIMENTAL STUDY

Three different materials were used in the experimental studies, rock powder, sewage sludge ash (SSA), and clay. The rock powder primarily include limestone powder with high percentage of $CaCO_3$ (calcium carbonate). Its water absorption was observed to be quite low. The SSA mainly include sulphur, and observed to have a high water absorption. The clay samples used during the experimental studies were quarried in the University of Gaziantep campus (LL=34, PL=28; PI=6). These three materials have been tested at different mixture ratios. The mixtures used during the tests are presented in Table 1 as follows. Figure 1 presents the SEM pictures of the materials used during the experimental studies.

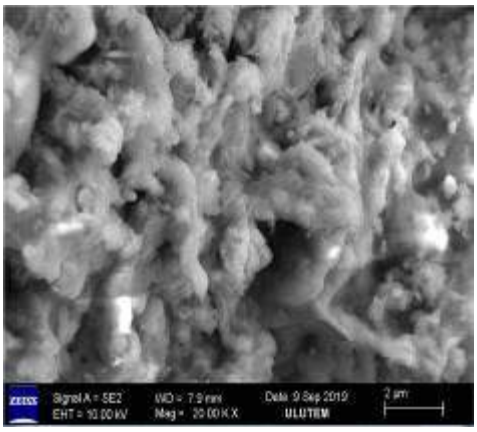
**Table 1.** Mixtures for the specimen tested during the experimental studies

| Series 1 | Series 2 | | Series 3 |
|---|---|---|---|
| SSA(%) | Rock powder (%) | SSA (%) | Rock powder (%) |
| 5 | 5 | 20 | 5 |
| 10 | 10 | 15 | 10 |
| 15 | 15 | 10 | 15 |
| 20 | 20 | 5 | 20 |
| 25 | - | - | 25 |



(a) (b)



(c)

**Figure 1.** SEM pictures of the (a) clay, (b) rock powder, and (c) SSA used during the experimental studies.

## RESULTS AND DISCUSSION

According to the results obtained at the end of the experimental works, plastic limit values were found to increase significantly by SSA additions (from 28% to 41%), though those were found to be almost same by rock powder additions (from 28% to 30%). Similar results were found in liquid limit values. On the other hand, there is no systematic change observed in the undrained shear strength values (Table 2).

**Table 2.** Testing results

| Specimen | Plastic limit (%) | Liquid limit (%) | Undrained shear strength (kPa) |
|---|---|---|---|
| Clean clay | 28 | 34 | 1.4 |
| Clay with 5% rock powder | 29 | 39 | 1.5 |
| Clay with 10% rock powder | 26 | 35 | 1.4 |
| Clay with 15% rock powder | 30 | 34 | 1.7 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Clay with 20% rock powder | 28 | 37 | 1.6 |
| Clay with 25% rock powder | 30 | 35 | 1.7 |
| Clay with 5% SSA | 29 | 40 | 1.4 |
| Clay with 10% SSA | 35 | 40 | 1.4 |
| Clay with 15% SSA | 39 | 42 | 1.7 |
| Clay with 20% SSA | 36 | 45 | 1.7 |
| Clay with 25% SSA | 41 | 46 | 1.6 |
| Clay with 5% rock powder & 20% SSA | 35 | 44 | 1.3 |
| Clay with 10% rock powder & 15% SSA | 35 | 41 | 1.5 |
| Clay with 15% rock powder & 10% SSA | 34 | 39 | 1.5 |
| Clay with 20% rock powder & 5% SSA | 31 | 36 | 1.7 |
| Rock powder | na | 29 | 1.5 |

## CONCLUSIONS

Response of a clay treated with both rock powder and sewage sludge ash was investigated experimentally by using British fall-cone device. The observations made in the investigation reveals that addition of rock powder only was not found to be very effective on the Atterberg's limit tests, although SSA addition affected substantially the behaviour of the clay tested. The authors' interpretation is that there is a requirement for a research on the influence of curing time on the testing results.

## REFERENCES

Cabalar AF, Karabash Z (2015) Stabilizing California bearing ratio of a subgrade soil using waste tire and cement addition. J Test Eval ASTM 43(6):1279–1287

Cabalar, A.F., Abdulnafaa, M.D., Karabash, Z. (2016). Influences of various construction and demolition materials on the behavior of a clay. Environmental Earth Sciences, 75, 9, 841.

Warner JD, Edil TB (2012) An evaluation of reclaimed asphalt shingles for beneficial reuse in roadway construction. J ASTM Int 1(9):146–167

Zhu J, Wu S, Zhong J, Wang D (2012) Investigation of asphalt mixture containing demolition waste obtained from earthquake damaged buildings. Constr Build Mater 29:466–475.

# FABRIC PRODUCTION FROM TEXTILE FABRIC WASTES

Özge Yurtaslan, Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fak., Lif ve Polimer Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, ozge.yrtsln@gmail.com

Şule Altun Kurtoğlu, Artisan Teknik Danışmanlık ve Ar-Ge, Bursa, Türkiye, slaltun54@gmail.com

Demet Yılmaz, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fak., Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, demetyilmaz@sdu.edu.tr

**ABSTRACT**: The textile industry, which is one of the most prominent industrial areas in the world and in Turkey, has become significant in which environmental studies are intensified due to energy intensive processes and wastes. Cotton is one of the main raw materials of textile industry and thus has significant environmental impacts through the whole life cycle. Recycling is one of the most suitable methods to minimize these impacts. In this study, for the purpose of evaluating cotton-weighted waste fabrics, fiber blends were prepared with opened fabric wastes and yarn produced by OE-rotor method and woven fabric characteristics were evaluated.

**Key words:** Green marketing, recycling, fabric wastes, textile wastes, cotton wastes, carbon footprint.

# TEKSTİL ATIKLARINDAN KUMAŞ ÜRETİMİ

**ÖZET:** Dünyada ve Türkiye'de önemli sanayi kollarından biri olan tekstil sektörü, enerji yoğun prosesleri ve oluşturduğu atıklar ile çevresel çalışmaların yoğunlaştırıldığı alanlardan biri haline gelmiştir. Tekstil üretiminin temel hammaddelerinden olan pamuk, tüm yaşam döngüsü boyunca önemli çevresel etkilere sahip doğal bir elyaftır. Bu çevresel etkileri minimize etmede en etkili yöntemlerden biri ise, geri kazanımdır. Bu çalışmada, pamuk ağırlıklı atık kumaşların değerlendirilmesi amacıyla kumaş atıklarının açılması sonucu elde edilen liflerin farklı atık lifleri ile elyaf harmanları hazırlanmış ve OE-rotor yöntemi ile iplik ve dokuma kumaşlar üretilmiş ve performans özellikleri değerlendirilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Yeşil pazar, geri kazanım, kumaş atıkları, tekstil atıkları, pamuk atıkları, karbon ayakizi.

## GİRİŞ

Çevresel problemler günümüzde küresel bir boyut kazanmış ve dünyanın herhangi bir yerindeki bir fabrikanın salgıladığı sera gazı, tüm canlıları etkileyen bir konu haline gelmiştir. Çevre ile ilgili problemlerin küreselleşmesi ile birlikte, çözüm metotları da küreselleşmiş ve tüm dünya ülkelerinin yer aldığı platformlarda; enerji, hammadde, atık, katı sıvı gaz emüsyonları, sürdürülebilirlik, ekosistem, endüstriyel simbiyoz, küresel ısınma, karbon ayakizi, ozon tabakası incelmesi, temiz üretim vb. konular tartışılmaya başlanmıştır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Kyoto Protokolü ve ozon tabakasını incelten maddelere karşı oluşturulan yaklaşık 200 ülkenin taraf olduğu Montreal Protokolü bu kapsamda ilk akla gelen örneklerdir [1]. Adı geçen protokoller ve sözleşmeler, şu anda dünyada bu protokollere taraf olan ve olmayan ülkelerle birlikte Türkiye'nin de çevre politikalarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Çevre ile ilgili hareketlerin yakın geçmişine bakıldığında, bu hareketlerin 1960'lı yıllardan itibaren önce bölgesel olarak başladığı, daha sonra küresel boyuta ulaştığı görülmektedir. Çevre kirliliğinin insan ve diğer canlıların hayatını tehdit eden boyutlara ulaşması, 1960'lı yılların aktif politik ortamı ve 1969'daki Santa Barbara petrol saçılması gibi kazalar, çevre ile ilgili konulara duyarlı grupların oluşmasına zemin hazırlamış ve bu konuda bir kamuoyu oluşmasını tetiklemiştir. Şu anda Detox kampanyası ile tekstil firmalarını temiz üretim yapmaya zorlayan Greenpeace çevre örgütü de, bu ortam içerisinde 1971 yılında kurulmuştur. 1980 ve 1990'lı yıllar asit yağmurları, ozon incelmesi gibi yeni sorunları gündeme getirmiş ve bilinçli/yeşil tüketicinin ilk örnekleri görülmeye başlanmıştır. 2000'li yıllarda ise küresel ısınma ve iklim değişikliğinin etkilerinin somut olarak görülmeye başlanması ile birlikte bireysel bazda çevreye duyarlı tüketicilerin çevre sorunları ile mücadele etmek için yeşil ürünlere yönelmesi, Avrupa Birliği (AB) gibi oluşumların örneğin kamu ihalelerinde yeşil ürünleri tercih etmesi gibi etkenler yeşil pazar payını artırmıştır [2]. AB Komisyonunun 2012 yılında yaptırdığı bir ankette, katılımcıların %56'sı zaman zaman, %26'sı ise sık sık çevre dostu ürünleri satın aldığını söylemiştir. Aynı ankette, katılımcıların %38'i ürünün çevresel etkisinin satın almalarını etkileyen çok önemli bir kriter olduğunu belirtmiştir [3]. 1975 yılında American Marketing Association (AMA), Yeşil Pazar (Green Marketing) terimini kullanmıştır. Günümüzde, çevreci pazarlama (environmental marketing), ekolojik pazarlama (ecological marketing), sürdürülebilir pazarlama (sustainability marketing) gibi farklı isimler alan ama temelde aynı kriterlerden oluşan özel bir alan gelişmektedir. Bu pazar, İskandinav ülkeleri, Avrupa Birliği ülkeleri ve Amerika Birleşik Devletlerinde %30'un üzerinde oranlara ulaşmaktadır, aynı pazarın Çin'de de hızla büyümekte olduğu göz ardı edilmemelidir [4]. Dünyada çevresel konuların önem kazanması ile birlikte "döngüsel ekonomi" olarak adlandırılan farklı bir ekonomik anlayış da gündeme gelmeye başlamıştır. Döngüsel ekonomi, ürün, malzeme ve kaynakların mümkün olduğunca uzun süre ekonomi içerisinde tutulabildiği ve atık minimizasyonunun temel alındığı bir

kavramdır. Diğer ifade ile "üret, kullan imha et" yerine, "kaynak verimliliğine dikkat ederek üret, uzun süre kullan ve geri dönüştür" prensibini esas almaktadır. Dolayısıyla, döngüsel ekonomi ile yeni bir anlayışa geçilmeye başlanmıştır. Avrupa Birliği bu konuda bir eylem planı hazırlamıştır. Öte yandan, tekstil sektöründe de döngüsel ekonominin esasını oluşturan verimli kaynak kullanımı ve geri kazanım kavramları önemli hale gelmiştir. Özellikle, tekstil sektöründeki gün geçtikçe artan küresel yarış, üreticileri artan kalitede ve rekabet edilebilir fiyatta ürünler üretmeye zorlamaktadır. Ancak, hammadde fiyatları, enerji ve işgücü maliyetleri her geçen yıl artan şekilde yükselmektedir. Örneğin, pamuk ipliği üretiminde, hammadde maliyeti genel olarak toplam iplik üretim maliyetinin %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır [5]. Yüksek hammadde maliyetlerinin yanısıra enerji ve işgücü maliyetleri konusunda yapılabilecek iyileştirmelerin de mevcut teknoloji içerisinde sınırlı olması nedeniyle atık minimizasyonu ve atık geri kazanımı önem kazanmaktadır. Pamuk ipliği üretiminde hammadde maliyetlerini azaltmaya yönelik olarak yürütülen araştırmalarda ilk çözüm olarak, harman hallaç ve tarak makinelerindeki işlemler sırasında yüksek temizleme veriminin sağlanması ve telef miktarının azaltılması hedeflenmiştir. İkinci çözüm ise, elyaf atıklarından geri kazanımıdır [6].

**Tekstil çevre ve atık problemlerinin gelişimi**

Küresel ekonominin önem kazandığı bu çağda, istenen kalitedeki tekstil ürününün çevreye duyarlı bir şekilde üretilmesi, firmaların hayatta kalabilmelerinin temel şartlarından biri haline gelmiştir [7].

Dünyada kişi başına düşen lif tüketimi, nüfus ve gelir düzeyindeki artışa bağlı olarak 2016 yılı itibari ile 13 kg'a ulaşmış olup, 2050 yılında bu rakamın 20 kg'a ulaşacağı tahmin edilmektedir [8]. Bilindiği gibi, son yıllarda sezonlar haftalara kadar inmiş, ucuz ve düşük kalitedeki ürünler tüketimi önemli ölçüde artırmıştır. Lüks moda trendlerini taklit eden düşük maliyetli ürünler (fast fashion), örneğin İngiltere gibi ülkelerde pazarın 1/5'ini oluşturmaya başlamıştır [9]. Yüksek tüketim beraberinde yüksek tekstil atığını da getirmektedir. ABD'de, her yıl 11 milyon ton civarında kullanılmış tekstil atığı oluşmaktadır [10]. Tekstil atıkları ayrıca, dünyada ortalama olarak çöplüklerde %5 civarında bir yer kaplamaktadır [11]. Gelişmiş ülkelerin önümüzdeki dönemlerde en önemli hedefleri, tekstil atıklarının geri kazanım oranlarını mevcut durumdan (%15-30) daha iyi oranlara (~%50) yükseltebilmektir [10].

Pamuk elyafı polyester ile beraber günümüzde tekstil sanayisinin en temel ve stratejik iki hammaddesinden biri olma özelliğini korumaktadır. 2016/2017 yılı verilerine göre dünya toplam pamuk lif tüketimi 24.13 Milyon ton civarındadır. 2024 yılında bu rakamın 30.4 milyon tona ulaşması beklenmektedir [12]. Tekstilde temel ve vazgeçilemez lif olan pamuk aynı zamanda buğday ve pirinç ile birlikte, en geniş sulama alanına sahip üç bitkiden biridir ve temiz su kaynaklarının en önemli tüketicilerindendir. Örneğin, dördüncü büyük pamuk üreticisi olan Pakistan'da

sulama için yeraltı sularının %31'i çekilmektedir [13]. Pamuk lifi üretiminde, dünyada 7000-29000 $m^3$ arasında su kullanılmaktadır. Ayrıca, pamuk lif üretimi için ekili alanların yaklaşık %2.4 gibi küçük bir oranı kullanılmasına rağmen, dünyada kullanılan pestisitlerin %11'i pamuk üretiminde kullanılmaktadır. Pamuk bitkisi üretiminin başlıca çevresel etkileri olarak, gübreler nedeniyle ötröfikasyon oluşumu, aşırı sulama nedeniyle toprakta tuzlanma oluşumu, pestisitler nedeni ile vahşi hayatın zarar görmesi, yeraltı sularının ve yüzey sularının kirlenmesi, su tablalarının yer değiştirmesi, yeraltı ve yerüstü sularının azalması verilebilir [14-15]. Türkiye, pamuk üretiminde lider ilk 6 ülke içerisinde yer alırken, su kaynakları (kendi içerisinde) en düşük olan 2. ülkedir. Ayrıca, Türkiye'de kullanılan pestisitlerin %29'u pamuk üretimi için kullanılmaktadır. Bu durum, özellikle Çukurova Bölgesinde vahşi hayata önemli zararlar vermektedir [16-17]. Türkiye'de kullanılan gübreler genellikle azot esaslıdır, azot esaslı gübreler taşınarak su kütlelerine ulaşmaktadır. Türkiye'de bir ton pamuk üretimi için 0.004 ton azot su kütlelerine karışmaktadır [18-19]. Pamuk ipliği üretimi, lif üretiminde kullanılan pestisit, gübre ve aşırı su tüketimi yanında enerji yoğun bir proses olması nedeni ile de çok önemli çevresel etkilere yol açmaktadır. Pamuk lifi ve ipliğinin eldesi sırasında ortaya çıkan bu çevresel etkileri azaltmanın en önemli yolu, hammadde geri kazanımıdır.

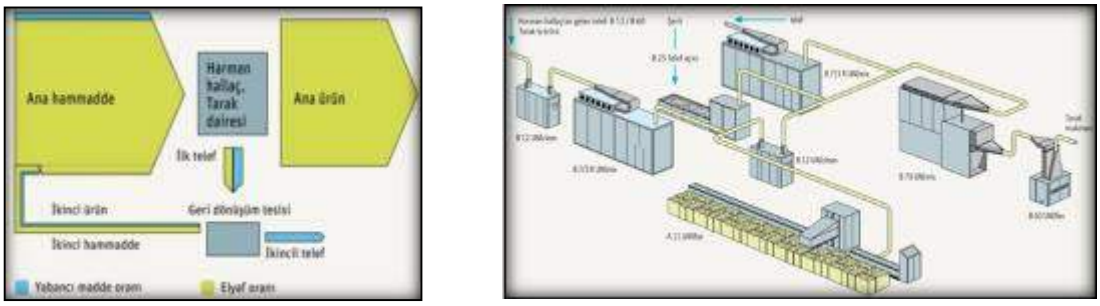
**Atık geri kazanımının çevresel boyutu**

Geri kazanım süreci, ürünün tasarlandığı aşamada başlamaktadır. Genel bir tanım olarak eko tasarım, bir ürünün tüm yaşam döngüsü göz önüne alınarak tasarlanmasıdır. Eko tasarımda, çevresel etkinin azaltılması, etik ve sosyal ihtiyaçların gözetilmesi, aynı zamanda ürünün fonksiyonel ve estetik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir [20]. Günümüzde EkoTasarım (Ecodesign), Çevreye Duyarlı Tasarım (Environmentally Conscious Design), Yeşil Mühendislik (Green Engineering), Beşikten Beşiğe Tasarım (CradletoCradle Design) gibi birçok kavram kullanılmaktadır. Bu kavramların aralarında farklılıklar olmasına rağmen uygulamada, kavramlar çoğu zaman birbirlerinin yerine kullanılabilmektedir [21]. Eko tasarım, çevreye ve kurumsal imaja gelebilecek potansiyel zararları engelleme, malzeme ve enerji girdilerinde azalma, atık, emisyon ve toksik maddelerin azalımı, çevresel standartlara uyum, yasalar ve yönetmeliklere uyum gibi çevre ile bağlantılı avantajların yanı sıra, yenilikçi ürün geliştirme ve maliyetlerin azalması gibi imkanlar da sağlamaktadır. Geri kazanılmış malzeme kullanımı, eko tasarımın önemli araçlarından biridir. Yapılan çeşitli Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) çalışmalarında, orijinal ürün yerine geri kazanılmış ürün kullanımının çevresel etkiyi önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür. Özellikle en yaygın olarak kullanılan iki lif olan pamuk ve polyesterde, bu düşüşler çok önemli boyutlardadır. Örneğin, bir kg orijinal iplik yerine kullanılmış tekstil atıklarının geri kazanılması ile elde edilen iplik kullanıldığında, pamuk için 65 kWh, polyester için 90 kWh'lık kazancın elde edildiği belirlenmiştir [22]. Bir başka çalışmada ise orijinal ve geri kazanılmış pamuktan elde edilmiş kıyafetlerin karbon ayak izi değerleri karşılaştırılmış ve 1 kg pamuklu giysi için bu değer orijinal üründe 42 kg $CO_2$ eq iken, geri kazanılmış üründe 22 kg $CO_2$ eq olarak bulunmuştur [23].

Günümüzde geniş ticari hacme sahip olan küresel ölçekli firmaların da maliyet avantajının yanısıra özellikle çevresel kaygılar nedeniyle geri dönüştürülmüş malzeme kullanımına yöneldiği görülmektedir. Marks&Spencer 2025'e kadar ürünlerinin en az %25'ini, %25 oranında geri kazanılmış malzeme kullanarak üretmeyi hedeflemektedir [24]. Levi's, 2020 yılına kadar ürettiği pantolonlardan hammaddeleri geri kazanarak yeni pantolonlar üretmeyi planlamaktadır [25]. H&M, üretimlerinde %20 oranında geri kazanılmış hammadde kullanarak giysi ürettiğini belirterek, gelecekte bu oranı %100'e çıkarmaya çalışacağını beyan etmektedir [26].

**Pamuk ipliği üretiminde geri kazanım süreci**

Elyaf geri kazanım kavramı ve uygulaması, sanayi devriminden bu yana tekstil endüstrisinin önemli bir bölümünü oluşturmuştur [27]. Pamuk ipliği üretiminde, açma, temizleme ve karıştırma işlemlerinden eğirme aşamasına kadar olan süreçte elyaf ve iplik atıkları meydana gelmektedir. Oluşan atıkların içerisinde yaklaşık olarak %50 oranında iyi lif bulunmaktadır. Dolayısıyla, işlenen hammaddenin neredeyse yarısı kaybedilmektedir (Şekil 1). Telef ve telefteki iyi lif oranının yüksek olması nedeniyle teleften iyi kalitede iplik üretimi mümkün olabilmektedir. Ancak, bu durum öncelikle birincil hammadde kalitesi ve geri kazanımda kullanılacak makinelere bağlıdır [6, 28-29].




(a) (b)

Şekil 1. Telef değerlendirme için örnek bir proses akışı (a) ve geri kazanım tesisi (b) [30]

Eğirme prosesindeki işlemler içerisinde en fazla elyaf telefi, başta tarama ve taramayı takiben harman hallaç ve tarak makinalarında gerçekleşmektedir. Ürün kalitesi konusundaki ihtiyaçlar doğrultusunda tarama işleminde, belirli oranlarda kısa lifler uzaklaştırılmaktadır. Harman hallaç ve tarak makinelerinde ise hammaddenin özellikle temizlenmesi ve açılması sırasında lifler kirliliğe neden olan yabancı maddelerle birlikte kaybedilmektedir. Farklı teknik gelişmelere rağmen, harman hallaç makinelerinin oluşturdukları atıklar, büyük oranda lif içermektedirler [6, 31].

Tekstil atıklarının neredeyse tamamının geri kazanımı mümkündür [32]. Türkiye özelinde, tekstil atıklarının önemli bir kısmı iplik üretim proseslerinde hammadde olarak değerlendirilmektedir. Özellikle ring iplikçilik sistemine kıyasla, daha kısa uzunluktaki elyafın da üretime dahil edilebilmesi nedeni ile OE-rotor iplikçilik sisteminde geri dönüştürülmüş lifler büyük bir oranda üretimde kullanılabilmektedir [33].

Geri kazanılan veya geri dönüşüm lifleri ile gerçekleştirilen eğirme işlemi hammadde tasarrufu yanında atık liflerin endüstriyel döngüye yeniden kazanımını sağlamaktadır (Çizelge 1). %100 orijinal pamuktan elde edilen iplik üretiminde; hammadde maliyeti, toplam maliyetin %50'sini oluştururken, %50 geri dönüşüm pamuk ve %50 orijinal pamuktan oluşan karışımlı harmandan iplik üretiminde ise toplam maliyetin %33.5'ini oluşturduğu belirtilmektedir [34]. Dolayısıyla, hammadde ile ilgili tasarruf üretim maliyetlerini önemli oranda azaltmaktadır.

Çizelge 1. Örnek bir işletme için telef yönetimi ve hammadde kullanımın tasarruf açısından değerlendirilmesi [30]

| | **Ekonomik değeri** |
|---|---|
| Bir yılda işlenen hammadde miktarı | 10.000 ton |
| Harman hallaç ve tarak dairesinden çıkan toplam telef | 800 ton |
| Geri kazanılabilir telef | 360 ton |
| Bir kg hammadde fiyatı (ABD$) | 1.32 |
| Yıllık hammadde tasarrufu (ABD$) | 475.000 |

Geri dönüşüm liflerin ve elde edilecek ipliğin kalitesi, aslında ipliğin üretim süreci ile ilgilidir [6, 31]. Eğirmede geri kazanılmış liflerin yeniden kullanımını ele alan birçok yayınlanmış makale mevcuttur. Çalışmalarda OE-rotor eğirme prosesi ile rotor iplikler üretilmiştir. Yapılan ilk çalışmalarda Wulfhorst (1984), geri kazanılan elyafın birincil hammadde ile %20'ye kadar harmanlaması sonucunda, harman kalitesinde değişiklik olmadığı sonucuna varmıştır [35]. Bruggeman (1998) eklenecek ikincil hammaddenin oranının dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerektiğini belirtmiştir [28]. Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, genellikle çeşitli elyaf teleflerinin kullanılmamış pamuk liflerine çeşitli oranlarda harman hallaç ve I.pasaj cer makinesinde karıştırıldığı ve çoğunlukla Ne 5/1 ve Ne 20/1 numara aralığında OE-rotor iplikler üretildiği görülmektedir [36, 39]. Çalışmalar özellikle, karışım oranının çeşitli iplik özelliklerine etkisi yanında açma silindir türü, hızı, rotor hızı, düze türü gibi optimum OE-rotor iplik makine parametrelerinin belirlenmesi konularında yoğunlaşmaktadır. Kullanılan telef türü, karışım oranı ve iplik numarasına bağlı olarak uygun rotor iplik eğirme parametreleri değişmekle birlikte [36-40] özellikle belirli karışım oranına kadar (%20-25 arasında) iplik ve kumaş özelliklerinin telef içermeyen ipliklerle benzer

olduğu tespit edilmiştir [35-36, 40-42]. Ancak bu oran %25'i aştığında özellikle düzgünsüzlük, tüylülük, mukavemet ve kopma uzaması gibi iplik kalite özelliklerinde düşüş yaşandığı gözlenmiştir. Üretime eklenen telefin türü de (pnomofil, şapka, brizör, cer telefi), en az eklenen telef oranı kadar önemlidir. Özellikle daha temiz ve uzun lif içermesi nedeniyle pnomofil teleflerinin daha iyi özellikler sağladığı tespit edilmiştir [36]. Cer makinesinde yapılan karışımdan ziyade harman hallaç dairesinde yapılan karıştırmanın daha homojen bir lif dağılımı sağladığı ve böylece daha düşük düzgünsüzlük değerlerine ulaşıldığı görülmüştür [37, 43]. İplik özelliklerinin incelendiği çalışmalarda telef lifleri çoğunlukla birincil pamuk lifleri ile karıştırılırken denim kumaş [42, 44] ve çorap eldesi [38] için geri dönüşüm polyester ile, battaniye üretimi için ise polyester ve akrilik lifleri ile birlikte belirli oranlarda harmanlanmıştır. Elde edilen denim [42, 44], battaniye [38, 45-46] gibi ürünlerde yırtılma mukavemeti, ısıl konfor gibi özellikler değerlendirilmiştir. Çalışmalarda geri dönüşüm elyaftan üretilen battaniyelerin kabul edilebilir seviyede mukavemet değerleri [45] ve alternatif olabilecek seviyede iyi konfor özelliği sağlaması [46] ve daha düşük maliyetli olması nedenleriyle geri dönüşüm lif içermeyen orijinal battaniyelere alternatif olarak kullanılabileceği belirtilmiştir [45-46]. %20 oranında geri dönüşüm pamuk lifi içeren karışımdan elde edilen denim kumaşlarda yırtılma mukavemetinin düşük olduğu tespit edilmiş ve lif mukavemeti arttırılarak kumaş performansının iyileştirilebileceği belirtilmiştir [42]. Çoraplarda ise geri dönüşüm lif içerikli çorapların termal iletkenliği ve soğurganlık değerlerinin daha düşük, termal direnç ve su buharı geçirgenliği değerlerinin ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir [38].

**Türkiye tekstil geri kazanım sektörü hakkında kısa bilgiler**

Türkiye'de, telef geri kazanım sektörü önemli bir sektör olmasın rağmen atık yönetimi konusunda toplumsal duyarlılığın sağlanması, Ar-Ge çalışmaları, tekstil atıklarının yüksek katma değerli ürünlere çevrilmesi konularında ilave çalışmalar yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Türkiye'de atıkların önemli bir bölümü iplik üretiminde kullanılmaktadır. Geri kazanılmış hammaddeden iplik üretiminde, Uşak ili lider durumdadır ve sektöründe %75 oranında bir paya sahiptir. Türkiye'de pamuk teleflerinin geri kazanımında en yaygın yöntem OE rotor iplikçiliğidir. Türkiye'de teleflerin geri kazanılması ile elde edilen başlıca ürünler ve üretim oranları aşağıda verilmiştir [21], [38].

- Dolgu (%22)
- Keçe (%13)
- Battaniye (%13)
- Triko-örgü (%13)
- Dokuma kumaş (ev tekstil ve giyim) (%12)
- İplik (%9)
- Çorap (%6)
- Ayakkabı (%4)

- Kilim, yorgan, yastık (%4)
- Halı (%3)'dır.

Türkiye'deki pamuk geri kazanım sektörünün en önemli sorunları ise, kalın ve düşük kalitede, katma değeri düşük iplik üretimi ve ürün çeşitliliğinin az olmasıdır [47]. Dünyada son yıllarda telef/atık geri kazanımı yeni bir boyut kazanmış ve atıklardan yüksek katma değerli ürün eldesi önem kazanmıştır [48]. Yukarıda da bahsedildiği gibi, günümüzün önemli tekstil firmaları üretimlerinde geri kazanılmış hammadde kullanmaya başlamıştır ve gelecekte de bu oranı artıracaklarını beyan etmişlerdir. Bu pazardan pay alabilmek için Türkiye'de bulunan firmaların Ne 20 bandının üzerine çıkmaları, ürün performansını ve çeşitliliğini iyileştirmeye yönelik Ar-Ge çalışmaları yapmaları önemlidir.

Bu çalışmada, pamuk ağırlıklı atık kumaşlardan elde edilen liflerin farklı atık lifleri ile hazırlanan harmanları kullanarak OE-rotor yöntemi ile iplik ve dokuma kumaşlar üretilmiş ve performans özellikleri değerlendirilmiştir.

## YÖNTEM

Mekanik açma işleminden geçirildikten sonra elyaf haline getirilen dokuma telefleri ile farklı elyaf karışımları oluşturulmuştur. Orijinal pamuk ve geri dönüşüm polyester (rPET) lifleri kullanılarak harmanlar elde edilmiştir. Oluşturulan harmanlara ait bilgiler, Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Açılan dokuma teleflerine ait harmanlar

| | **Harman No** | **1. Elyaf** | **2. Elyaf** | **3. Elyaf** | **Açıklama** |
|---|---|---|---|---|---|
| Açma telef harmanları | 1 | 60% | 25% | 15% | Pamuk açma + pamuk/sentetik açma + rPET |
| | 2 | 80% | 20% | - | Pamuk açma + siyah rPET |

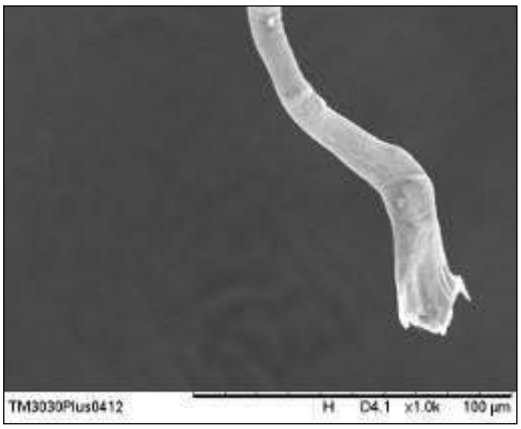
Açma işleminden geçirilen dokuma kumaş telef liflerinin SEM görüntüleri alınarak, gerçekleştirilen mekanik açma işleminin elyaf morfolojisine olan etkileri de incelenmiştir. Oluşturulan harmanlar ile Ne 8/1 numara OE-Rotor iplikler üretilmiştir. Telef içeren ipliklerin düzgünsüzlük, ince-kalın yer, neps ve tüylülük özellikleri Uster Tester 3'de, mukavemet ve kopma uzaması özellikleri Uster Tensorapid test cihazlarında test edilmiştir. Bununla birlikte, üretilen bu ipliklerden numune dokuma tezgahında kumaşlar üretilip, aşınma (ISO 12947-2) ve boncuklanma

(ASTM D4970, 2000) direnci ile asidik (ISO 105 E04) ve bazik ter (ISO 105 E04) haslığı, yıkama haslığı (ISO 105 C06), su haslığı (ISO 105 E01), kuru (ISO 105 X12) ve yaş sürtme (ISO 105 X12) haslığı gibi çeşitli renk haslıklarından oluşan fiziksel testleri yapılmıştır.

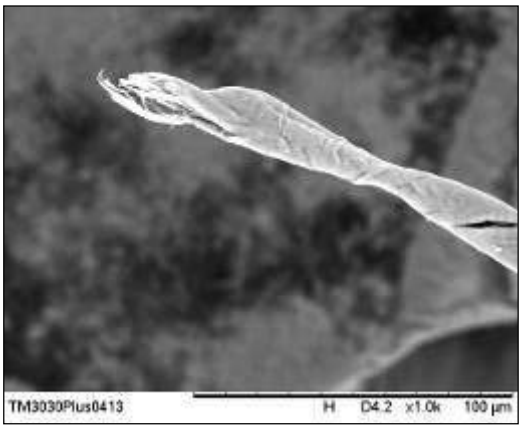
## BULGULAR

### Açma işlemi sonrası elyaf görüntüleri

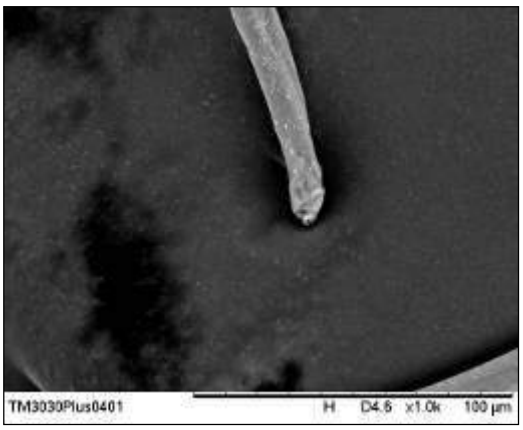
Açma makinesinde 6 aşamalı açma işleminden geçirilen dokuma kumaş teleflerinden her açma işlemi sonrası numuneler alınmış ve taramalı elektron mikroskobunda (SEM) mekanik açma işleminin elyaf morfolojisine olan etkileri incelenmiştir (Şekil 2). Lif görüntüleri incelendiğinde, mekanik açma işleminden geçirilen dokuma kumaş teleflerine ait liflerin açma işlemi sonrasında liflerin uç kısımlarında hasarların oluştuğu gözlemlenmektedir.



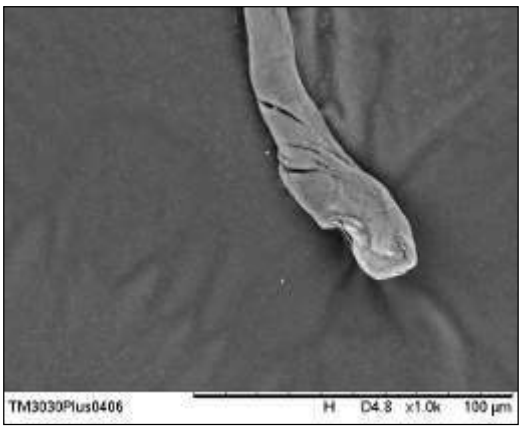

(a)




(b)




(c)




(d)

Şekil 2. 6 aşamalı açma işlemine tabi tutulan dokuma teleflerine ait elyafların SEM görüntüleri (a: İşlem görmemiş, b: 1 defa açma işleminden geçen lif, c: 3 defa açma işleminden geçen lif ve d: 6 defa açma işleminden geçen lif)

**İplik özelliklerine ait sonuçlar**

Mekanik açma işleminden geçirildikten sonra elyaf haline getirilen dokuma telefleri ile oluşturulan farklı harman karışımlarından elde edilen Ne 8/1 numara OE-rotor ipliklerin düzgünsüzlük (CVm), hata (ince yer, kalın yer ve neps) ve iplik tüylülüğü sonuçları Çizelge 3 ve mukavemet ve kopma uzaması sonuçları Çizelge 4'de verilmektedir. Üretilen iplikler, Uster Dünya İstatistikleri ile değerlendirmelere tabi tutularak ipliklerin uluslararası platformda kalite değerleri değerlendirilmiştir. Uster İstatistiklerinde oluşturulan harman içeriğinin bulunmaması nedeni ile %100 pamuk elyafından elde edilen Ne 8/1 numara dokuma ipliklerine ait %5, %50 ve %95 kalite grubuna ait değerler ile karşılaştırma yapılmıştır (Çizelge 5). İpliklerin sonuçları incelendiğinde, kumaş teleflerinin açılmasından elde edilen lifler ile oluşturulan harmanlardan elde edilen ipliklerin yüksek iplik düzgünsüzlüğü ve iplik hatalarına sahip olduğu belirlenmiştir. İplik tüylülüğü açısından ise oldukça düşük iplik tüylülüğü değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Öte yandan, açma işleminden geçirilmiş dokuma teleflerinden elde edilen ipliklerin mukavemet ve kopma uzaması özellikleri açısından iyi değerler sağladığı tespit edilmiştir.

Çizelge 3. Açılan dokuma teleflerini içeren OE-rotor ipliklere ait Uster Tester 3 sonuçları

| Harman No | CVm (%) | İnce yer (-%50) | Kalın yer (+%50) | Neps (+%280) | Toplam İplik Hataları | Tüylülük (H) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 21,93 | 82 | 1411 | 794 | 2287 | 5,12 |
| **2** | 16,65 | 15 | 324 | 208 | 547 | 5,25 |

Çizelge 4. Açılan dokuma teleflerini içeren OE-rotor ipliklere ait Uster Tensorapid sonuçları

| Harman No | Kopma kuvveti (N) | Mukavemet (cN/tex) | Kopma uzaması (% ) | Kopma işi (N.cm) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | 5,69 | 7,71 | 10,13 | 17,33 |
| **2** | 5,89 | 7,98 | 9,12 | 16,32 |

Çizelge 5. Uster istatistiklerinin %5, 50 ve %95 kalite grubuna göre iplik özelliklerine ait değerler

| İplik özelliği | %5 | %50 | %95 |
|---|---|---|---|
| **CVm (%)** | 11,3 | 12,8 | 14,4 |
| **İnce yer (-%50)** | 0 | 1 | 6 |
| **Kalın yer (+%50)** | 5 | 17 | 57 |
| **Neps (+%280)** | 1 | 4 | 18 |
| **Toplam iplik hataları** | 6 | 22 | 81 |
| **Tüylülük (H)** | 5,5 | 7 | 8,8 |
| **Mukavemet (cN/tex)** | 15,6 | 13,1 | 11,2 |
| **Kopma uzaması (% )** | 8,9 | 7,4 | 6,1 |

**Kumaş özelliklerine ait sonuçlar**

Oluşturulan harmanlardan Ne 8/1 numara OE-rotor iplik üretimini takiben bu ipliklerden numune dokuma tezgahında 2/2 panama örgü türünde dokuma kumaş numuneleri üretilmiştir. Telef içerikli iplikler, atkı ve çözgü yönünde kullanılmıştır. Çeşitli fiziksel ve haslık testleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 6-7). Dokunan kumaşların fiziksel performans özellikleri değerlendirildiğinde; aşınma direncinin yeterli, boncuklanma direnci değerinin ise istenen değerin bir derece altında olduğu gözlemlenmiştir. Telef içerikli ipliklerden elde edilen kumaşların lif uzunluğunun kısa olması ve liflerin açma işleminden dolayı deforme olmasından dolayı aşınma ve boncuklanma direnci açısından daha kötü değerler vermesi beklenmektedir. Ancak, ipliklerin özellikle iplik tüylülüğü, mukavemet ve kopma uzaması açısından kabul edilebilir değerler sağlaması telef içerikli ipliklere ait kumaşların aşınma ve boncuklanma direnci özelliklerinin istenilen değerlerin bir derece altında değerler vermesini sağladığı düşünülmektedir. Haslık performanslarında yıkama, su ve kuru sürtme haslıklarının sağlandığı, asidik, bazik ve yaş sürtme haslıklarının ise istenilen değerin altında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6. Dokuma kumaş telefi içerikli OE-rotor ipliklere ait dokuma kumaşların fiziksel özelliklerine ait sonuçlar

| | Gramaj (g/m²) | Aşınma (Tur) | Boncuklanma (Derece) |
|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **İstenen değer** | | ±5% | MİN 10000 | 3 |
| **Harman No** | 1 | 307 | Kopma yok | 2/3 |
| | 2 | 305 | Kopma yok | 2/3 |

Çizelge 7. Dokuma kumaş telefi içerikli OE-rotor ipliklere ait dokuma kumaşların renk haslığı ve boyutsal çekme özelliklerine ait sonuçlar

| | | **Ter Haslığı** | | **Yıkama Haslığı** | **Su Haslığı** | **Sürtme Haslığı** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Asidik** | **Bazik** | | | **Kuru** | **Yaş** |
| **İstenen değer** | | MİN 3/4C, 3/4S | MİN 3/4C, 3/4S | MİN 3/4C, 3/4S | MİN 3C, 3S | MİN 4S | MİN 3/4S |
| **Harman no** | 1 | 4C, 2/3S | 4C, 2/3S | 4C, 3/4S | 4C, 3/4S | 4S | 2/3S |
| | 2 | 4C, 2/3S | 4C, 2/3S | 4C, 3/4S | 4C, 3/4S | 4S | 2/3S |

## SONUÇLAR

Kumaş atıklarının değerlendirilmesinin amaçlandığı bu çalışmada, kumaş telefleri mekanik açma işlemi ile lif haline getirilmiş ve genel olarak %80 açılmış telef lifleri %20 geri dönüşüm polyester liflerinden oluşan harmanlar oluşturulmuştur. Çalışmada, iplik tüylülüğü ve gerilme özellikleri açısından yeterli özelliklere sahip Ne 8/1 numara OE-rotor iplik üretiminin mümkün olduğu belirlenmiştir. Elde edilen iplikler atkı ve çözgü ipliği kullanılarak dokuma kumaş üretimi yapılmış ve fiziksel ve renk haslığı özellikleri açısından istenilen değerlerin bir derece altında özelliklerin elde edildiği tespit edilmiştir. Çalışmada, atkı ve çözgü yönünde telef içerikli ipliklerin kumaş üretiminde kullanılmasından yola çıkarak özellikle atkı veya çözgü yönünde daha iyi iplik özelliklerine sahip iplikler kullanılarak kumaş özellikleri açısından daha iyi değerlere sahip kumaş üretiminin mümkün olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla, kumaş atıklarının açma işleminden geçirilerek uygun harman içerikleri oluşturularak iplik ve kumaş üretiminde değerlendirilebileceği sonucuna ulaşılmış olup, bu durumunda çevre kirliliğinin azalması ve var olan hammadde kaynaklarının daha verimli olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

## ÖNERİLER

Önemli bir tekstil ve hazır giyim üreticisi, ithalatçısı ve ihracatçısı olan Türkiye'de tekstil atıkları uzun yıllardır geri kazanılmaktadır ve bu konuda önemli bir bilgi alt

yapısı da mevcuttur. Sektörün son yıllarda bilinçlendiği de görülmektedir. Özellikle son yıllarda ince numaralarda üretim yapan, kurumsallaşmış firmalar da bulunmaktadır. Ancak, sektörün %80'den fazlası kurumsallaşmamış firmalardan oluşmaktadır. Recycle sertifikası dahil olmak üzere, ekolojik sertifikalar konusunda yeterli bilgiye sahip değillerdir ve mühendis çalıştırma oranı düşüktür. Tüm bunların sonucu olarak, elde edilen ürünler özellikle üst segmente yönelik üretim yapan firmaların standartlarını karşılayamamaktadır. Ayrıca, sektör OE-rotor iplik üretiminde yoğunlaşmış ve gelişmekte olan teknik tekstil pazarının önemli bir aracı olan dokusuz yüzey üretimi ihmal edilmiştir. Günümüzde bilindiği gibi geri dönüştürülmüş elyaf kullanımı, farklı ekolojik etiketlerde teşvik edilmekte/zorunlu tutulmaktadır. Bu durum da geri dönüşüm sektörüne önemli avantajlar sunmaktadır. Geri dönüşüm sektörünün bu avantajlardan faydalanması, yeni pazarlara ulaşabilmesi, ihracat odaklı çalışabilmesi için;

- Sektörün kurumsallaşması
- Mühendis, teknik personel sayısının artırılması
- Ar-Ge çalışmalarına yönelinmesi
- Sektördeki eğilimlerin ve teknolojik yeniliklerin takip edilmesi
- Ürün çeşitliliğinin artırılması önerilebilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Bilim, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı-Bilim Ve Teknoloji Genel Müdürlüğü tarafından desteklenen San-Tez projesi çerçevesinde gerçekleştirilmiştir (Proje No: 0999.STZ.2015).

## KAYNAKLAR

[1] İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. Kyoto Protokolü ve Türkiye. http://www.dsi.gov.tr/docs/iklimdegisikligi/iklim_degisikligi_cerceve_sozlesmesi_ve_turkiye.pdf?sfvrsn=2 (12.10.2015).

[2] Green Public Procurement. http://ec.europa.eu/environment/gpp/index_en.html (12.10.2015).

[3] Attitudes of Europeans towards building the single market for green products. FlashEurobarometer367. http://ec.europa.eu/public_opinion/flash/fl_367_sum_en.pdf (01.10.2015).

[4] Zhu, Q., & Sarki J. (2015). Green Marketing and Consumerism in China: Analyzing the Literature Working Paper. *WP1-2015*, *Worcester Polytechnic Institute [US]*, 1-46. http://www.wpi.edu/Images/CMS/Business/WP1-2015_Green_Marketing.pdf

[5] Klein, W., (2011). Stalder H. Rieter İplikçilik El Kitabı.

[6] Leifeld, F. (1996). Récupération de déchets de coton: un procédé de filature lucratif. *ITB Filature et Tissage/Maille*, *3*, 96.

[7] Bouchraiet, R., Azzouz, B., Ben Hassen, M., & Saklı, F. (2016). Modeling cotton/ natural bast fibers blends: graphic and statisctical analyses of cotton-flax blended yarns produced on ring and rotor spinning machines. *International Journal of Applied Research on Textile*, 4(1), 62-75.
[8] Saurer. The fiber year 2015/2016, *Oerlikon Cooperation AG*, 2016,
[9] Sustainable Clothing Action Plan , Şubat 2010. http://www.defra.gov.uk/environment/business/products/roadmaps/clothing/index.htm (07.12.2015).
[10] Department for environment, Food and Rural Affairs "Sustainable Clothing Action Plan" 2011. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69193/pb13206-clothing-action-plan-100216.pdf (01.10.2015).

[11] TextileExchange, 2012. http://farmhub.textileexchange.org/farm-library/farm-fiber-report (01.10.2018).

[12] OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024. *Commodity Snapshots: Cotton 2015*, 1-148 (07.12.2015)
[13] Quick Facts and Statistics for Textile and Product Waste 2012. http://www.purewaste.org/media/pdf/textile-product-waste-fast-facts.pdf (07/12/2015)

[14] Soth, J., Grasser, C., & Salerno, R. (1999). The impact of cotton on fresh water resources and ecosystems. *A Preliminary Synthesis, WWF International*, 1-48.
[15] Cherrett, N., Barrett, J., Clemett, A., Chadwick, M., & Chadwick, M.J. (2005). Ecological footprint and water analysis of cotton. *Hemp and Polyester*, Stockholm Environment Institute, 73.
[16] Uluatam, S.S. (1994). Protection measures for environmental problems due to water development in the southeastern anatolia project region. *Improvement of Water and Soil Resources, Ankara,* State Hydraulic Works III, 1119-1130,.
[17] Harmancioglu, N., Alpaslan, N., & Boelee, E. (2001). Irrigation, health and environment: A review of literature from Turkey. Colombo, Sri Lanka: *International Water Management Institute (IWMI),* IWMI Working Paper, 6, 21.
[18] Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G., & Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assesment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resouces in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, *60*, 186-203.
[19] Yilmaz, I., Akcaoz, H., & Ozkan, B. (2005). An anaylsis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy*, *30*, 145-155.
[20] Niinimki, K. (2006). Ecodesign and textiles. *Research Journal of Textile and Apparel*, 10(3), 67-75.
[21] Kasap, G.Ç., & Peker, D. (2011). An environmentalist approach: green design. *Business and Economics Research Journal*, *2*(2), 101-116.
[22] Woolridge, A.C., Ward, G.D., Phillips, Collins, M., Gandy, S. (2006). Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material: An UK energy saving perspective Resources. *Conservation and Recycling*, *46*, 94-103.

[23] Defra Contract Reference: WRT152, Oakdene Hollins Ltd, Salvation Army Trading Company Ltd, "Recycling of Low Grade Clothing Waste". Nonwovens Innovation & Research Institute Ltd.
http://docplayer.net/25633310-Recycling-of-low-grade-clothing-waste.html (07.12.2015)

[24] https://corporate.marksandspencer.com/documents/plan-a/plan-a-2025-commitments.pdf (07.12.2015)
[25] http://www.levistrauss.com/unzipped-blog/2015/07/embracing-the-circular-economy (07.12.2015)
[26] https://about.hm.com/en/sustainability/get-involved/recycle-your-clothes.html (07.12.2015)
[27] Richard, H. (2000). Recycling textile and plastic waste. *Recycling and Recovery Strategies*, Woodhead Publishing Limited, 1–3.
[28] Bruggeman, J.P. (1998). Traitements mécaniques des déchets et des cotons charges. *l'industrie textile*, *1128*, Décembre, 1049-1051.
[29] Hanafy, I. *(*1997). Fabric from cotton waste. *The Indian Textile Journal*, 16-18.
[30] Klein, W. (2014). Kısa Lif İplikçilik Teknolojisi. *Rieter El Kitabı*, Rieter Machine Works Ltd., Cilt 2.
[31] Specklin, F.P. (1994). Environnement et gestion des d´echets. *L'industrie Textile*, *1254*, 52–570.
[32] Wang, Y. (2010). Fiber and textile waste utilization. *Waste Biomass Valorization*, Şubat, *1*,135–143.
[33] Merati, A. A., & Okamura, M. (2004). Producing medium count yarns from recycled fibers with friction spinning. *Textile research journal*, *74*(7), 640-645.
[34] Wanassi, B., Azzouz, B., & Hassen, M. B. (2016). Value-added waste cotton yarn: Optimization of recycling process and spinning of reclaimed fibers. *Industrial crops and products*, *87*, 27-32.
[35] Wulfhorst, B. (1984). The technological and economic aspects of the recycling of wastes in modern cotton mills. *Foreign edition with English supplement*, *8*, 741-743.
[36] Khan, K., & Rahman, H. (2015). Study of Effect of Rotor Speed, Combing-Roll Speed and Type of Recycled Waste on Rotor Yarn Quality Using Response Surface Methodology. *Journal of Polymer and Textile Engineering*, *2*(1), 47-55.
[37] Khan, M. K. R., Hossain, M. M., & Sarker, R. C. (2015). Statistical analyses and predicting the properties of cotton/waste blended open-end rotor yarn using Taguchi OA design. *International Journal of Textile Science*, *4*(2), 27-35.
[38] Gun, A. D., Alan, G., & Macit, A. S. (2016). Thermal properties of socks made from reclaimed fibre. *The Journal of The Textile Institute*, *107*(9), 1112-1121.
[39] Repon, M. R., Al Mamun, R., Reza, S., Das, M. K., & Islam, T. (2016). Effect of Spinning Parameters on Thick, Thin Places and Neps of Rotor Spun Yarn. *Journal of Textile Science and Technology*, *2*(03), 47.
[40] Mohamed Taher, H., Bechir, A., Mohamed, B. H., & Faouzi, S. (2009). Influence of spinning parameters and recovered fibers from cotton waste on the uniformity and hairiness of rotor spun yarn. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, *4*(3), 155892500900400304.

[41] Halimi, M. T., Hassen, M. B., & Sakli, F. (2008). Cotton waste recycling: Quantitative and qualitative assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, *52*(5), 785-791.
[42] Borman, T., & Sun, D. (2016). Recycled jean: property comparison to standard jean. *Journal of Fashion Technology and Textile Engineering*, *4*(2), 1000136.
[43] Pınarlık, G., & Şenol, M. (2012). İkincil kullanım tekstil liflerinden yapılan open-end rotor ipliklerinin özellikleri. *I. Ulusal Geri Kazanım Kongre ve Sergisi*, Uşak, 169-174.
[44] Telli, A., & Babaarslan, O. (2017). The effect of recycled fibers on the washing performance of denim fabrics. *The Journal of The Textile Institute*, *108*(5), 812-820.
[45] Alan, G., Koçlu, A., & Yüksekkaya, M. (2012). Geri dönüşüm hammaddeden üretilmiş olan battaniyelerin kopma mukavemeti performansının incelenmesi üzerine bir çalışma. *I. Ulusal Geri Kazanım Kongre ve Sergisi*, Uşak, 276-297.
[46] Celep, G., & Yüksekkaya, M. (2012). Geri dönüşüm liflerden ve orijinal liflerden üretilen battaniyelerin ısıl konfor özelliklerinin incelenmesi. *I. Ulusal Geri Kazanım Kongre ve Sergisi*, Uşak, 157-162.
[47] Altun, Ş. (2012). Tekstil üretim ve kullanım atıklarının, geri kazanımı, çevresel ve ekonomik etkileri. Rapor, Uşak Ticaret ve Sanayi Odası, Uşak.
[48] Meyabadi, T.F., & Dadashian, F. (2012). Optimization of enzymatic hydrolysis of waste cotton fibers for nanoparticles production using response surface methodology. *Fibers Polymers,* 13 (3), 313–321.

# ENERGY VALORIZATION OF OIL PALM AGRO-RESIDUES BY AIR-DOWNDRAFT GASIFICATION: TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS

Juan C. SOLARTE-TORO

Instituto de Biotecnología y Agroindustria, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales – Km 07 vía al Magdalena. Colombia. Email: jcsolartet@unal.edu.co

Mariana ORTIZ-SANCHEZ

Instituto de Biotecnología y Agroindustria, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales – Km 07 vía al Magdalena. Colombia. Email: mortizs@unal.edu.co

Leonardo A. ALONSO-GÓMEZ

Grupo de Investigación, Ciencia, Tecnología e Innovación Agroindustrial. Universidad de Los Llanos, Villavicencio, Colombia. Email: lalonso@unillanos.edu.co

Carlos A. CARDONA-ALZATE

Instituto de Biotecnología y Agroindustria, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales – Km 07 vía al Magdalena. Colombia. Email: ccardonaa@unal.edu.co ; Corresponding author

**ABSTRACT**: The application of renewable resources has been encouraged to diversify the energy matrix and decrease the environmental impact caused by the oil-based energy production. In this way, oil palm waste gasification has been proposed as alternative to produce electricity. Therefore, this paper aims to evaluate oil palm rachis and petiole (OPRP) as suitable feedstock to be gasified analyzing its fuel properties. For this purpose, a 10-kW pilot-scale air-downdraft gasifier was used. As results, syngas with a $H_2$/CO ratio of 0.57 and LHV of 5.46 MJ/Nm3 was produced. The carbon conversion and cold gas efficiency were 94.98% and 72.94%, respectively. The energy balance of the process leads to establish energy losses of 6.45%. Moreover, an electricity cost range of 0.614 USD/kWh - 0.286 USD/kWh was obtained, which can be only compared with those prices found in off-grid zones. Moreover, $CO_2$ emissions are lower than those derived from combustion processes. Finally, the OPRP gasification is a promising alternative to produce renewable energy in a decentralized way (including off-grid zones, where the electricity prices are higher).

**Key words:** Biochar, Biomass gasification, Electricity generation, Syngas, Waste valorization

## INTRODUCTION

A reliable, efficient and affordable electricity generation and supply for both rural and urban communities are one of the most important commitments acquired by countries to ensure a sustainable progress (Anco S. Blazev, 2015; Ang, Choong, & Ng, 2015). In accordance with the U.S Energy Information Administration (EIA), globally 24TWh of electricity were produced in 2017 with an annual increase of 1.9% in The Organization for Economic Co-operation and Development countries (OECD) countries and 1.0% in non-OECD countries (US Energy Information Administration, 2017). This energy production was carried out using different energy sources such as fossil fuels (i.e., coal, natural gas, petroleum), renewables (i.e., hydropower, biomass, wind, solar) and nuclear processes (BP, 2017). Nevertheless, 65% of the net electricity generated was obtained using fossil fuels, which have been classified as the main cause of environmental issues such as global warming and natural resources pollution (Renewable energy policy network for the 21st century (REN21)., 2018). Therefore, electricity generation using renewable energy sources as raw material must be increased to diversify the energy matrix as well as reduce the oil-based energy production in the world.

Renewable electricity generation has been used to supply the energy demand in different sectors (e.g., residential, industrial, transport and so forth). Moreover, the electricity derived from renewable resources has been implemented in regional energy developing plans as well as a surplus in the grid capacity of a wide variety of countries in rural and urban zones. Biomass is a renewable energy source that can be processed to generate electricity through different ways in energy vectors such as bioethanol, biogas and syngas as well as used directly in combustion chambers (Solarte-Toro, Chacón-Pérez, & Cardona-Alzate, 2018). In comparison to the energy derived from sunlight and wind, electricity generation from biomass has been developed on low, middle and high scale (Kitzler, Pfeifer, & Hofbauer, 2011; Surendra, Takara, Hashimoto, & Khanal, 2014).

Thermochemical paths (i.e., combustion and gasification) have been the main technologies used to produce electricity for both industrial and residential sectors. Combustion releases the energy content of the feedstock in form of heat through its degradation in presence of an oxidizing agent (e.g., air) (Overend, 2009). Instead, gasification comprises the conversion of carbonaceous materials in a partially oxidized environment to produce char, tars and a mixture of gases composed by hydrogen ($H_2$), carbon monoxide (CO), carbon dioxide ($CO_2$) and methane ($CH_4$) as well as other low molecular weight hydrocarbons. This gas mixture is known as syngas (Brown, 2011; Molino, Chianese, & Musmarra, 2016). Air, steam and oxygen are the main gasifying agents used to upgrade biomass in the above-mentioned products (Couto, Rouboa, Silva, Monteiro, & Bouziane, 2013; Gil, Corella, Aznar, & Caballero, 1999). On industrial level, combustion and gasification have been employed to produce heat and power simultaneously in cogeneration systems to supply part of the energy

requirements of chemical facilities (Islas, Manzini, Masera, & Vargas, 2019). The main advantage of the thermochemical conversion routes can be associated to the environmental friendliness of the processes due to the waste reduction and management. The gasification of biomass produces lower amount of $CO_2$, $NO_x$, $SO_x$, dioxins and furans than the direct combustion (Dong et al., 2018). Thus, gasification has been outlined as a striking technology to be implemented at different scales as base process to produce energy vectors, chemical compounds and direct usable power.

The gasification process has been classified considering crucial aspects such as oxidizing agent (i.e., air, steam and oxygen), and gasifier configuration (i.e., downdraft, updraft, fluidized bed, entrained bed).

Coal, petcoke, lignocellulosic biomass and municipal solid waste (MSW) are the main feedstocks used to be gasified and produce syngas (Solarte-Toro et al., 2018). The last two feedstocks have been widely studied in low scale applications while coal and petcoke are mainly used in chemical plants. The lower heating value (LHW) of the syngas changes based on the type of employed feedstock. Biomass produces a syngas with a LHV between 4 - 7 $MJ/Nm^3$, which can be used for generation purposes (Couto et al., 2013). Moreover, the updraft and downdraft gasifiers are the most common used configurations at these scales. Biomass and MSW are also common raw materials used in middle and low scale, which are used mainly for power generation and management of residues from agro-industrial processes, forest and waste.

The gasification process has been widely researched as alternative to produce electricity in different regions. Moreover, this technology has been studied to be used on industrial scale applications as well as an important stage in the steam and power generation in chemical facilities. The increased biomass production from industrialized crops (e.g., oil palm, rice, sugarcane) have boosted the search of alternatives for their proper management without considering the direct disposal into landfills or incineration. In this sense, this investigation focusses in evaluate the oil palm rachis and petiole (OPRP) as suitable feedstock to be gasified analyzing economical aspects, syngas properties, and mass and energy balances of the OPRP gasification using a pilot-scale air-downdraft gasifier.

## METHODS

### Oil Palm Waste Characterization

OPRP samples were obtained from an oil palm crop located in Cundinamarca, Colombia. The leaflets of the oil palm frond were removed and left in the field. Therefore, only the rachis and petiole of the frond was used as feedstock in the gasification process. The elemental composition (i.e., C, H, O, and N), as well as the volatile and fixed carbon content of this raw material were determined prior to the

experimental pilot-scale gasification. These parameters were used to calculate the OPRP fuel properties (i.e., heating value) and other important characteristics such as the alkalinity index. For this purpose, OPRP samples were dried using a convective furnace (Thermolab DiEs TH53) and milled using a knives mill (Thomas-Wiley mill) to reduce their particle size until ASTM 40 sieve (i.e., 0.42 mm). Then, the volatile matter (ASTM E872 – 82), fixed carbon (ASTM E870 – 82), and the ultimate analysis (ASTM D5373- 16) were determined. Finally, the high heating value (HHV) of the samples was calculated using the empirical correlation proposed by Nhuchhen and Salam (2012) and the experimental data obtained from the proximate analysis.

**Experimental Set-Up Of The Air-Downdraft Gasification Of Oil Palm Rachis And Petiole**

The Power Pallet system (i.e., gasifier) with a peak power production capacity of 10 kW manufactured by the company All Power Labs industry (USA) was used to perform the gasification of the OPRP. This system is composed by an Imbert-style downdraft gasifier, pre-heating air and feedstock system, spark fired industrial engine Kubota model DG972 and electrical generator Mecc-alte ECO3N-4. This system uses air as gasifying agent and no-compression stage is involved during the operation. Therefore, the gasification system operates at a lower pressure than the atmospheric (i.e., 78 kPa). Different flows of solids and gaseous components can be identified in the gasification equipment, which allows understanding in a better way the conversion of the OPRP samples into syngas and subsequently, power. A detailed flow diagram of the gasifier is presented in Figure 18

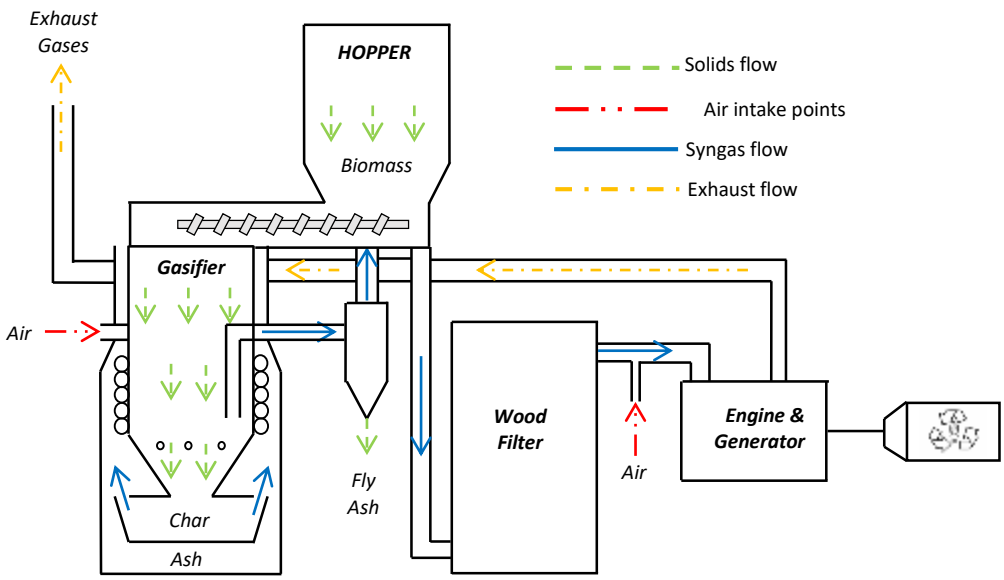



*Figure 18. Process Flow Diagram Of A Downdraft Gasifier.*

The gasification equipment presented in Figure 18 can be classified as an auto-thermal gasifier since it does not require an external heat source to maintain the endothermic

reactions that characterize the reduction zone of the process (Akay & Jordan, 2011; Molino et al., 2016). In addition, the equipment is powered by vacuum pressure. Nevertheless, the characterization of the syngas can be performed after the wood filter, before being used as fuel in the engine to produce electricity. As presented in Figure 18, there are three types of flows: the solids flow is related to the feedstock use and its degradation to syngas, which is mixed with air prior to enter the engine to generate electricity and exhaust gases. Additionally, the syngas flow starts in the gasifier and ends in the engine, whereas the exhaust gas flow is expelled from the gas engine and released to the atmosphere.

Before the operation of the gasifier, the conditioning of the raw material must be carried out to avoid operational problems associated to the feeding of the raw material into the equipment (e.g., bridging, rat-holing, binding). The conditioning stage involved two stages: i) feedstock drying until a moisture content below 20% and ii) dried feedstock chipping to obtain a particle size between 1.27 and 3.81 cm using a two-step milling process. The first milling step was carried out using a band saw Dewalt Dw739 and the second one was performed manually. This step was done to increase the energy efficiency of the process as well as to guarantee the correct size of the raw material.

***Operation Run And Process Description***

The feedstock was placed inside the hopper before turning-on the gasifier. The equipment was sealed and insured to avoid disrupting the system vacuum. Then, the equipment was started and the OPRP chips are conveyed through a horizontal auger to the reactor. A level switch sensor is coupled with the auger to control the raw material entering the reaction. This control is performed through an on-off system. Afterward, a torch and 50-ml gasoline were used to start with the first phase of combustion. As consequence, the temperatures inside the gasifier were increased until reaching a reduction temperature above 800°C. The syngas generated in the gasifier is transported to a cyclone in order to remove fly-ash. Additionally, this syngas was used to heat-up the inlet air to the process as well as to remove moisture from the raw material in the drying bucket. This “heat integration” is performed to increase the energy efficiency of the process and reduce the syngas temperature before using it as fuel in the gas engine. Simultaneously to the syngas generation, char, ash and tars were produced as main by-products. Char is collected through a vibratory grater, which separates the biochar fraction from the ash fraction. The produced tars in the process are removed from the syngas using a stratified wood filter. The first level of the filter contains big pieces of wood (average particle size of 5 - 10 cm), the second level has smaller pieces of wood (3 - 5 cm), the third level is filled with shavings from the furniture industry, and the last level consists of a foam filter. At the same time, the air flow rate was measured using a rotameter. Finally, the relative cold and clean syngas is combusted in the gas engine to produce electricity and from this process, exhaust gaseous (composed mainly by $CO_2$ and $H_2O$) are released.

*Measurement Of The Syngas Composition*

The syngas composition was measured using a portable gas analyzer (Gasboard—3100P, Wuhan, China), which records the volumetric composition of $O_2$, CO, $CO_2$, $H_2$, $CH_4$ and light hydrocarbons such as ethane and propane ($C_nH_m$). The determination of the gas composition was performed continuously throughout the gasification. However, the syngas composition was recorded every 5 seconds in the gas analyzer memory. In order to avoid any damage of the gas analyzer, the syngas was conducted through a cleaning system composed by a water column, an activated carbon bed and coalescing filter.

*Temperature Profile Estimation*

The temperature profiles into the gasifier were measured using four (4) K-type thermocouples located at different heights from the top of the gasifier. Two of these thermocouples are located at 540 mm and 630 mm from the top of the gasifier allowing the registration of the temperature at the reduction zone (usually called as "throat" or "restriction") and the temperature at the bottom of the reduction zone (above the grate basket), respectively. The other two thermocouples were located at 400 mm and 900 mm from the top of the reactor. The temperature profiles were recorded every two minutes throughout the operation using a FLUKE 50S K/J thermometer. The temperatures profile of the OPRP gasification was measured to compare the reached temperatures inside the reactor to the temperatures reported for other raw materials. Moreover, the temperature profile was determined aiming to evidence the relation of the temperature inside of the gasifier and the final product composition

**Assessment Of The OPRP Gasification From A Technical, Energy, Economic And Environmental Perspective.**

The gasification of biomass to produce electricity is a process widely studied and analyzed in the open literature for different raw materials (Atnaw, Kueh, & Sulaiman, 2014; García, Morales, Quintero, Aroca, & Cardona, 2017; Yoon, Son, Kim, & Lee, 2012). The technical, energy, economic and environmental assessment of this process still can be complemented through the calculation of other indicators or applying different approaches. In this paper, the mass and energy balances of the gasification experience are used as input data to evaluate the performance of the process in terms of efficiency, carbon conversion and energy losses. Moreover, the economic context of Colombia off-grid zones as well as information related to the gasifier (i.e., equipment cost,

depreciation and maintenance) are used to calculate the electricity cost and the electricity yield of the OPRP gasification.

***Performance Of The Gasification Process***

The performance of the OPRP gasification process was evaluated through the calculation of the global mass and energy balances. Then, the LHV of the syngas and biochar were calculated. In addition, parameters such as gas yield, carbon conversion efficiency and cold gas efficiency were estimated to compare with other results reported in the literature using oil palm residues as well as lignocellulosic materials. The mass balance was performed weighting the amount of ash and char produced after the gasification process. These fractions were separated through the grate basket located at the bottom of the gasifier. On the other hand, the syngas mass flow was estimated using the so-called nitrogen-based method, which correlates the nitrogen composition before and after of the gasification process as well as the inlet volumetric flow in normal conditions of air. Thus, Equation (1) was used to calculate the syngas flow ($Nm^3/h$) in dry basis is given below:

$$\dot{Q}_{Syngas} = \dot{Q}_{Air} * \frac{\%N_{2,\,Air}}{\%N_{2,\,Syngas}} \qquad \text{Eq. (1)}$$

Where $\dot{Q}_{Air}$ is the inlet air flow rate ($Nm^3/h$), $\%N_{2,\,Air}$ and $\%N_{2,\,Syngas}$ are the volume percentage of nitrogen in air and syngas, respectively. This information was used to calculate the dry gas yield of the process as the ratio between the mass flow of syngas and feedstock. Afterward, the LHV of the syngas and the HHV of biochar were estimated as follows:

$$LHV_{Syngas} = 10.79\, x_{H_2} + 12.62\, x_{CO} + 35.62\, x_{CH_4} \qquad \text{Eq. (2)}$$

$$HHV = 20.7999 - 0.3214\left(\frac{VM}{FC}\right) + 0.0051\left(\frac{VM}{FC}\right)^2 - 11.227\left(\frac{Ash}{VM}\right) + 4.4953\left(\frac{Ash}{VM}\right)^2 - 0.7723\left(\frac{Ash}{VM}\right)^3 + 0.0383\left(\frac{Ash}{VM}\right)^4 + 0.0076\left(\frac{FC}{Ash}\right) \qquad \text{Eq. (3)}$$

Where in Equation. (2), the $x_{H_2}$, $x_{CO}$ and $x_{CH_4}$ are the mole fractions of the syngas and the LHV of the syngas is given in $MJ/Nm^3$. Moreover, Equation. (3) describes the HHV in terms of volatile matter (VM), fixed carbon (FC) and ash content. Once these values have been calculated, the global energy balance of the gasification process can be

estimated. The results obtained from the energy balance are presented in a Sankey diagram (See Figure 6, Section 3.3). Finally, the carbon conversion efficiency and the cold gas efficiency of the process were calculated using the Equations (4) and (5):

$$\eta_C = \frac{\dot{m}_{Syngas}\left(0.273\, w_{CO_2} + 0.749\, w_{CH_4} + 0.428\, w_{CO}\right) + \dot{m}_{Biochar}\, w_C + \dot{m}_{Tar}\, w_C}{\dot{m}_{Feedstock}\, w_C} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$\eta_{Cold\ gas\ efficiency} = \frac{LHV_{Syngas}\, \dot{m}_{Syngas}}{LHV_{Feedstock}\, \dot{m}_{Feedstock}} \quad \text{Eq. (5)}$$

Where $\dot{m}_{Syngas}$, $\dot{m}_{Char}$, $\dot{m}_{Tar}$ and $\dot{m}_{Feedstock}$ are the mass flow rate of the syngas, char, tar and feedstock obtained in the gasification process. $w_{CO_2}$, $w_{CH_4}$, $w_{CO}$ and $w_C$ are the mass fractions of $CO_2$, $CH_4$, CO and C, respectively. Finally, the electrical output of the equipment was calculated according to the gasifier specifications.

**Economic Assessment Of Syngas, Biochar And Electricity Generation**

The calculation of the costs associated to the syngas production, biochar and electricity is not widely reported in the open literature. Nevertheless, different approaches have been employed to calculate the net incomes from the syngas and biochar sales (Yao, You, Ge, & Wang, 2018). Moreover, other studies have been focused on the estimation of the economics of gasification facilities considering real costs associated to the equipment acquisition, maintenance and operational investments (Sobamowo & Ojolo, 2018). In this sense, the economic parameters related to the syngas and biochar generation as well as the equipment cost are given before to the electricity production costs. Yao et al. reported the following equations to perform an economic evaluation of the syngas and biochar production through biomass gasification.

The net incomes from the syngas and char sales can be calculated using the Equation (6):

$$\text{Incomes} = P_{Biochar} * \dot{m}_{Biochar} + P_{Syngas} * \dot{m}_{Syngas} \quad \text{Eq. (6)}$$

Where $P_{Biochar}$ and $P_{Syngas}$ are the unit price of biochar and syngas, respectively. These prices can be calculated using the reported costs for biochar and syngas by Yoder et al., (Yoder, Galinato, Granatstein, & Garcia-Pérez, 2011) and Wang et al., (Wang, Mao, Sui, & Jin, 2015), which are expressed per unit of energy. Therefore, the HHV of each

product is used to express the prices on a material basis. The calculation of $P_{Biochar}$ and $P_{Syngas}$ is showed below:

$$P_{Biochar} = f_{Biochar} * HHV_{Biochar} \quad \text{Eq. (7)}$$

$$P_{Syngas} = f_{Syngas} * HHV_{Syngas} \quad \text{Eq. (8)}$$

Where $f_{Biochar}$ and $f_{Syngas}$ are the unit price per mega-joule of biochar and syngas, which have the following values: $2.528x10^{-3}$ USD/MJ and $6.78X10^{-3}$ USD/MJ, respectively. Moreover, $HHV_{Biochar}$ and $HHV_{Syngas}$ are the high heating values of the main products, which were calculated in the section 2.3.1.

The electricity production cost was calculated considering the electrical output of the equipment and the costs associated to the raw material, depreciation, labor and maintenance. The equipment was purchased from the All Power Labs industry (i.e., 33,000 USD) and the depreciation calculation was carried out considering a salvage value of 15% and applying a straight-line method for a 10-year period. The OPRP cost was calculated as 17.50 USD/ton considering the raw material conditioning and transportation costs necessary to cover a 200 km distance. The calculated price was similar with those reported by Tan et al., (2016). The operating labor cost was calculated considering the current legal monthly minimum wage (SMMLV) for a Colombian worker, which is 282.26 USD/month. On the other hand, the maintenance cost was calculated as 6% of the fixed capital investment. Finally, operating times s of 8 h and 24 h for electricity generation were considered to perform the calculations. Costs associated to oversizing, administration and utilities costs are not reflected in this preliminary economic evaluation.

## RESULTS AND FINDINGS

### OPRP Feedstock Analysis As Fuel For Biomass Gasification

The results obtained from the proximate and ultimate analysis of the OPRP are showed in Table 4. According to the proximate analysis, the OPRP has a high amount of ash in comparison to other raw materials used as feedstock in thermochemical conversion applications, which can cause troubles during its processing. On the other hand, the ratio between the volatile matter and fixed carbon is 5.46, which is higher than the maximum ratio recommended for gasification processes (i.e., 3 – 4) (All Power Labs, 2015). This ratio can be used to estimate qualitatively the temperatures reached during the process. In fact, high ratios indicate that lower temperatures will be reached in the gasification process (i.e., lower than 900°C). Therefore, the co-gasification of OPRP with coal or any other raw material could increase the temperatures inside the gasifier

and stimulate the gas-solid reactions in the reduction zone of the gasifier (Rong et al., 2015). Nevertheless, the proximate analysis of the OPRP is quite similar to *Pinus patula* and coffee cut-stems, which have been successfully used in the gasification process (García, Betancourt, & Cardona, 2017). Thus, OPRP can be used in the process without major drawbacks. In addition, the heating value of the OPRP is similar as those reported for several raw materials, which allows expecting a considerable increase in the temperature during the gasification (at least 800°C).

***Table 4. Proximate And Ultimate Analysis Of The Oil Palm Rachis And Petiole (OPRP) Samples.***

| **Proximate analysis (%w/w, db.)*** | | **Ultimate analysis (%w/w, db.)** | |
|---|---|---|---|
| Moisture | 11.71 ± 0.52 | Carbon | 44.53 |
| Fixed Carbon | 14.72 ± 0.91 | Hydrogen | 5.75 |
| Volatile matter | 80.45 ± 0.12 | Oxygen | 49.41 |
| Ash | 4.81 ± 1.12 | Nitrogen | 0.31 |
| **HHV (MJ/kg)** | 18.56 | **Empirical formula** | $C_6H_{9.23}O_5$ |

*Proximate analysis was performed by triplicate. db. dry basis

The ultimate analysis of the OPRP samples allows calculating the H/C and O/C ratios, which were 1.54 and 0.83, respectively. These ratios are comparable to the results obtained for different raw materials such as sugarcane bagasse, rice husks, *Pinus patula*, coffee cut-stems and so forth, which ranges from 0.6 to 1.2 in the O/C case and 1.4 to 1.6 in the H/C case (García, Betancourt, et al., 2017; García, Peña, Betancourt, & Cardona, 2017). In fact, the HHV of different feedstocks decrease when the O/C ratio decreases as well as increase at high H/C ratios, which support the torrefaction as thermochemical pretreatment (Bach & Skreiberg, 2016; Brown, 2011). In addition, OPRP has a HHV value lower than other fuels such as anthracite, coal, lignite and peat, which are derived from the non-renewable resources exploitation (P. Tan, Zhang, Xia, Fang, & Chen, 2015). The above is caused by the high oxygen content in the OPRP in comparison to the other fuels, hindering the conversion of OPRP into value-added products (Basu, 2010). In this way, the results obtained from the proximate and ultimate analysis allows identifying the OPRP as a potential raw material to be used as feedstock in gasification processes.

**Pilot-Scale Of OPRP Gasification**

The experimental results obtained from the OPRP gasification in terms of syngas composition and temperature profile inside the gasifier were analyzed. On the other hand, the CO, $CO_2$, $CH_4$ and $H_2$ gases were correlated with the reduction of

temperature to evaluate its effect in the volumetric yields of the syngas. The concentration profiles from the OPRP gasification are showed in Figure 19.

The variation of each gas in the syngas remains relatively constant once the temperatures inside of the gasifier have stabilized. Nevertheless, the CO composition decreases from 30% to 20% at the end of the operation. This behavior is related to the gas-solid reactions given in the reduction zone, where a decrease in the temperature affects the product gas composition. The other gases (i.e., $H_2$, $CO_2$, $CH_4$ and $N_2$) had a similar behavior during all the operation time. At the end of the gasification, the gas composition changed abruptly due to the change in the gasifier temperatures and more than 85% of the raw material was consumed. The mean syngas composition obtained from Figure 19 was CO (21.01% vol.), $CO_2$ (15.91% vol.), $CH_4$ (4.46%), $H_2$ (11.87%) and $N_2$ (46.65%) in dry basis. The obtained profile for each gas as well as the mean composition is similar to other gasification experiences reported in the literature (Atnaw, Sulaiman, & Yusup, 2013; García, Moncada, Aristizábal M., & Cardona, 2017). In fact, common values for the gas composition obtained using an air-downdraft gasifier are CO (15 – 20% vol.), $CO_2$ (10 – 15% vol.), $CH_4$ (0.5 – 2% vol.) and $H_2$ (15 – 20% vol.), which have been reported for several raw materials (Ouadi, Brammer, Kay, & Hornung, 2013), (Brown, 2011; Martínez, Mahkamov, Andrade, & Silva Lora, 2012). Once the syngas composition was determined, an analysis of the possible application ranges of this gas is developed in terms of the $H_2$/CO ratio.

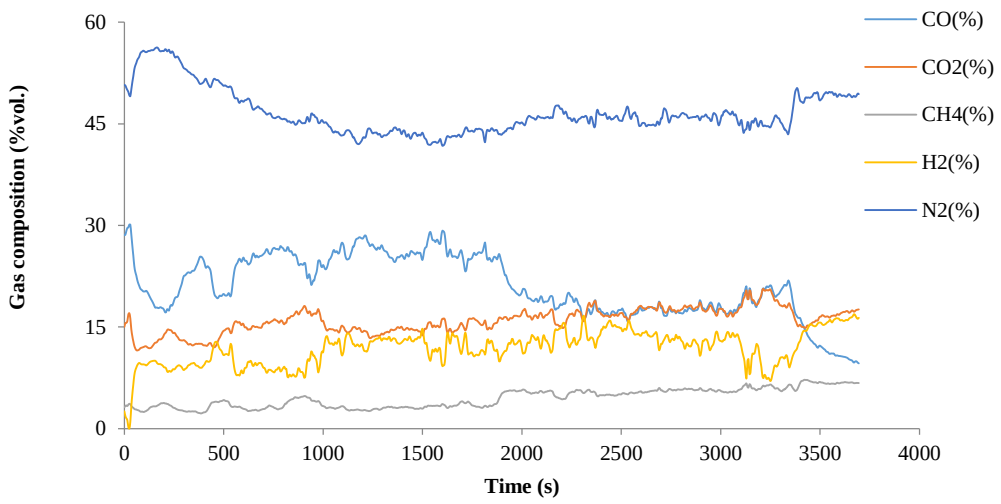



**Figure 19. Syngas Composition Change With The Operation Time Of The Oil Palm Rachis And Petiole Gasification**

The $H_2$/CO ratio is considered a critical parameter to determine the application range of the syngas since some chemical reactions need different amounts of reactants to obtain products such as gasoline, methanol, ammonia and methane. In this way, the $H_2$/CO ratio of the obtained gas from the OPRP gasification was 0.56 in volume basis,

which is appropriate to obtain gasoline as well as heat and power (i.e., electricity) (Brown, 2011). Therefore, the syngas can be used directly in the above-mentioned applications. However, it is necessary to increase the $H_2/CO$ ratio through the water – gas shift reaction until a ratio between 0.6 and 2.0 in order to promote the application of the syngas to produce other products such as methanol. Nevertheless, the volumetric concentration of nitrogen, which dilutes the hydrogen and carbon monoxide in the syngas, limits the application range of the gas produced from the air-downdraft gasification process. Therefore, the syngas obtained from the air-downdraft OPRP gasification only can generate electricity. This statement can be corroborated calculating the HHV and LHV of the syngas. In fact, the mean HHV and LHV were 5.85 $MJ/Nm^3$ and 5.46 $MJ/Nm^3$, respectively. These values are in agreement with the reported data by Atnaw et al., (2013) for a similar raw material. In addition, these values also are in agreement with the reported data in different experiences using an air-downdraft gasifier (Waldheim, L. Nilsson, 2001).

In the same way, the temperature profile into the gasifier during the operation run is presented in Figure 20. The recorded temperatures in the gasifier show more clearly the start-up, steady state and shut down of the equipment. The temperatures at the restriction of the reduction zone (T_tred) and the temperature at the bottom of the reduction zone (T_bred) are quite similar since these are very close with a temperature ranging between 650°C – 825°C. The behavior obtained for T_tred and T_bred are very similar with the reported profiles by the All Power Labs industry for other raw material as softwood chips, walnut shells and wood pellets (All Power Labs, 2009a, 2009b). Nevertheless, the range of temperatures reached is very different due to the feedstock composition differences. On the other hand, the T_pyro thermocouple measured a temperature range between 550°C - 750°C achieving a mean value of 616°C. The trend of this thermocouple was like the above-mentioned temperatures. In addition, the temperature recorded at the bottom of the gasifier, T_syngas, has a lower temperature, which is about 242°C. The temperatures profile during the gasification experience shows that the process was stable in more than 70% of the operation time.

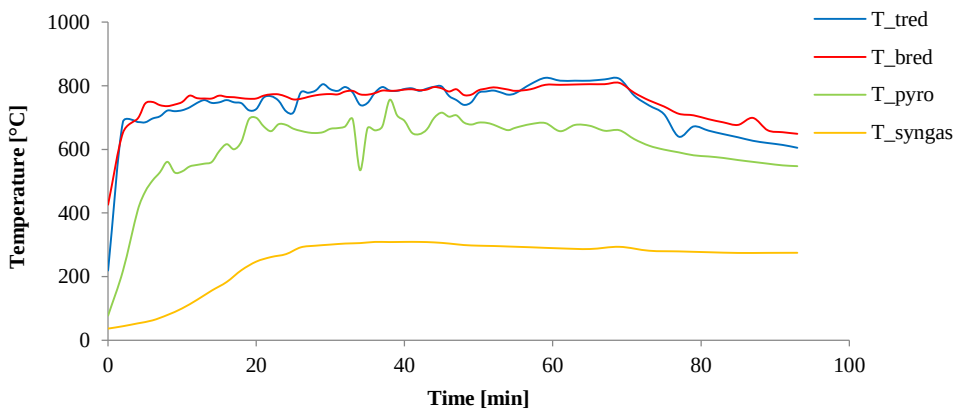



**Figure 20. Temperature Profile Recorded In The Gasification Experience**

The relation between the temperatures recorded in the reduction zone and the compositional change of each gas was determined. This behavior can be observed in Figure 21 (a - d), where the CO, $H_2$ and $CH_4$ molar composition increase with the reduction temperature while the $CO_2$ composition decreases. In general, the CO composition varies from 10.06% to 28.57% in a temperature range from 600°C to 850°C. The $CO_2$ composition decreases from 18.17% to 12.33% in the same temperature range. Moreover, $H_2$ and $CH_4$ vary from 8.5% to 15% and 2.5% to 6.5%, respectively. This behavior can be explained from the thermodynamic point of view analyzing the reactions given in the reduction zone.

| | | | |
|---|---|---|---|
| **$R_1$** | Boudouard | $C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$ | $\Delta H = 172$ kJ/mol |
| **$R_2$** | Water – Gas | $C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$ | $\Delta H = 131$ kJ/mol |
| **$R_3$** | Hydrogasification | $C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4$ | $\Delta H = -74.8$ kJ/mol |
| **$R_4$** | Steam Reforming | $CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$ | $\Delta H = 206$ kJ/mol |
| **$R_5$** | Water – Gas shift | $CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$ | $\Delta H = -41.2$ kJ/mol |

The reactions $R_1$, $R_2$ and $R_4$ are highly endothermic, whereas the reactions $R_3$ and $R_5$ are slightly exothermic (Khartchenko & Kharchenko, 2010). Therefore, high temperatures are necessary to promote the formation of the products, as is the case of the CO, $H_2$ and $CH_4$, which are the main combustible components of the syngas. In the $CO_2$ case, which is present in the reactions $R_1$ and $R_5$, the $CO_2$ acts as reactant and product, respectively. The reaction $R_1$ has an activation energy higher than the reaction $R_5$, which favors the $CO_2$ disappearance. Therefore, high temperatures increase the equilibrium constant value favoring the formation of the products. Thus, the decrease in the relative concentration of $CO_2$ is explained in terms of the increase in the production of other permanent gases, mainly CO and $H_2$ with the temperature.

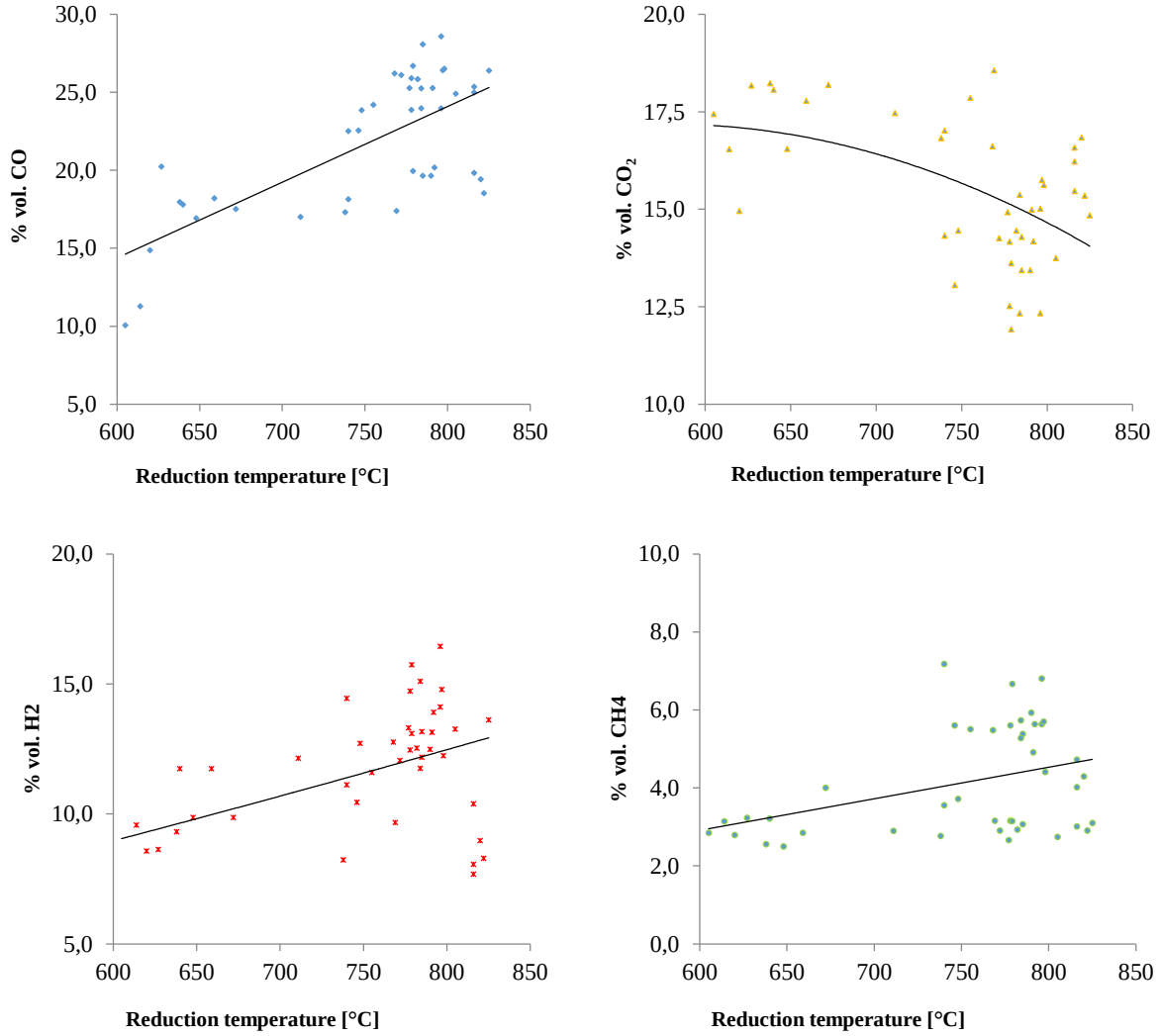



**Figure 21. Effect Of The Reduction Zone Temperature In The Syngas Composition**

The scattering plot in Figure 4 shows a large dispersion of the experimental data obtained from the OPRP gasification. An increasing tendency can be observed in the $H_2$, $CH_4$ and CO case. This is because the direct relation of these products and the reduction temperature due to the reduction zone is characterized to be endothermic. Nevertheless, other important aspects related to the mass and energy transfer between the gaseous phase and solid phase inside of the gasifier influence highly the final syngas composition and its production rate. For this reason, a more deeply study of the biochar must be done considering variables such as surface area, char reactivity, char porosity, char H/O ratio, pressure and residence time. In this work, these variables were not studied to explain the behavior showed in Figure 4. Even so, the above mentioned information can be supported by the studies performed by Sulaiman et al., (2015).

**Mass And Energy Balance Of The Pilot Scale Air-Downdraft Gasification**

The global mass and energy balance of the OPRP gasification was estimated using the available data from the procedures described in the methodology (see, section 2.2). Furthermore, the proximate analysis of the produced char was performed to calculate its heating value to complete the overall energy balance. The measured air inlet flow rate was 110 lpm (6.6 $Nm^3/h$) at 15°C and 101.325 kPa. Thus, the calculated mean syngas flow was 11.52 $Nm^3/h$. Moreover, the raw material consumption was calculated as the ratio between the load used and the time required to exhaust it completely. The overall mass balance of the OPRP gasification is showed in Figure 22.

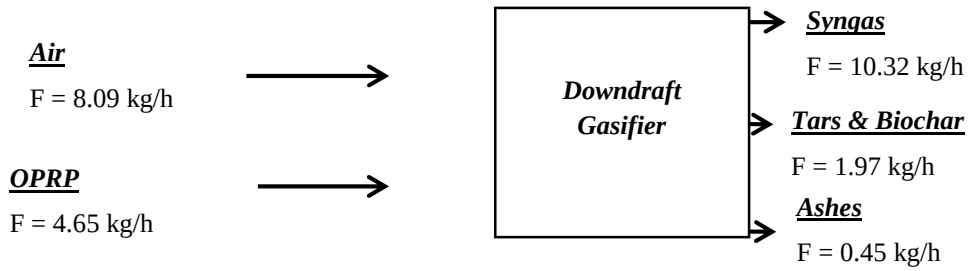



*Figure 22. Overall Mass Balance Of The OPRP Gasification In A Downdraft Gasifier*

A summary of the operating parameters and experimental results obtained in the OPRP gasification with a moisture content of 10% is showed in Table 5. Operation Parameters And Results Obtained From The OPRP GasificationTable 5. The results presented in this table are compared to those reported by Atnaw et al., (2014).

**Table 5. Operation Parameters And Results Obtained From The OPRP Gasification**

| Parameter | This work | Atnaw et al., (2014). |
|---|---|---|
| Total operation time (min) | 93 | 118 |
| Moisture content (% wet basis) | 9.68 | 22.00 |
| Initial weight of feed (kg) | 11.20 | 12.00 |
| Average initial air flow rate (lpm) | 110 | 180 |
| Air fuel ratio (kg air/kg fuel) | 1.74 | 2.07 |
| Equivalence ratio (ER) | 0.35 | 0.44 |
| Average pyrolysis zone temperature (°C) | 620 | 456 |

| | | |
|---|---|---|
| Average reduction zone temperature (°C) | 755 | 510 |
| Average fuel gas output (lpm) | 191.9 | 281.2 |
| Average HHV of fuel gas (MJ/Nm$^3$) | 5.46 | 4.95 |
| Amount of char obtained (g) | 1200 | 620 |
| Amount of ash obtained (g) | 700 | N.R |
| Syngas yield (kg syngas/kg raw material) | 2.22 | N.R |
| Carbon conversion efficiency (%) | 94.98 | 93.94 |
| Cold gas efficiency (%) | 72.94 | 70.54 |

From Table 5, it can be evidenced a higher carbon conversion efficiency and cold gas efficiency in the gasification experience than the reported results by Atnaw et al., (2013) which can be attributed to the low equivalence ratio employed. In accordance with the mass balance expressed in **Figure 22**, the char and ash flow is about 1.97 kg/h from which 0.77 kg/h are biochar (see, Table 5 ). Therefore, 1.27 kg/h could be attributed to the tar flow. However, this value is excessive when this flow is compared to the literature (Atnaw, Kueh, et al., 2014). This can be explained due to the tars flow was calculated as the difference between all inputs and outputs, without consider the accumulation of ashes inside of the gasifier (Chern, Walawender, & Fan, 1989).

On the other hand, the obtained biochar was characterized in terms of volatile matter and fixed carbon content and then, the calculation of the heating value was performed. The amount of volatile matter was 15.93%, ash 16.95% and fixed carbon 67.11%. These results suggest that the char produced from the OPRP gasification has a lower LHV that other types of chars obtained from wood gasification (Fryda & Visser, 2015). In this way, the HHV of the produced biochar using the equation proposed by Nhuchnen et al., (2012) was 17.25 MJ/kg. Nevertheless, the calorific value of the biochar produced from the OPRP gasification can be compared to coal extracted from opencast mining, which can vary between 15 MJ/kg to 26 MJ/kg (P. Tan et al., 2015). Finally, the produced ashes were characterized in terms of mineralogical composition to calculate the alkali index of the raw material and determine the possible clinker formation during the gasification process. Table 6 shows the oxides composition of these ashes.

**Table 6. Oxides Composition Of The Gasified Oil Palm Rachis And Petiole**

| **Item** | $SiO_2$ | MgO | $Mn_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | **Total $SiO_2$ + $Fe_2O_3$ + $Al_2O_3$** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **% w/w, db.*** | 80.78 | 3.78 | 0.05 | 1.22 | 0.24 | 7.82 | 0.21 | 5.91 | 82.24 |

*db. dry basis.

Ashes from the OPRP gasification have a high amount of silica oxides, which can be used to produce other value-added products such as additives for concrete or high purity silica (Fernandes et al., 2016). The share of $SiO_2$, $Fe_2O_3$ and $Al_2O_3$ shows that these ashes can be used to produce additives for the cement industry. However, aspects related to their crystallinity index must be evaluated to ensure this option (Fernandes et al., 2016). The content of $K_2O$ and $Na_2O$ is 6.12%. This value is low in comparison to other raw materials employed in gasification processes such as switchgrass and rice straw, which have a $K_2O$ and $Na_2O$ content of 12.18% and 13.26%, respectively. Thus, the alkali index of the OPRP calculated was 0.059 kg/MJ. This result suggests that the formation of clinker and slagging is improbable since these problems only appears with alkali index higher than 0.17 kg/MJ due to high amounts of ash as well as $K_2O$ and $Na_2O$ decrease the fusion temperatures of other mineral oxides.

The global energy analysis of the gasification system was also performed. For this, the energy content of the raw material and the gasification products were considered. A graphical method to show the energy balance of the gasification process is the Sankey diagram, which shows the global energy analysis of a process. This diagram is showed in Figure 23**.** The syngas can be classified as the main product of the gasification process. However, the produced biochar has the potential to generate a relevant amount of energy. Both syngas and biochar can produce an energy flow of 80.75 MJ/h, which in comparison with the energy content of the OPRP accounts an energy efficiency of 93.56%.

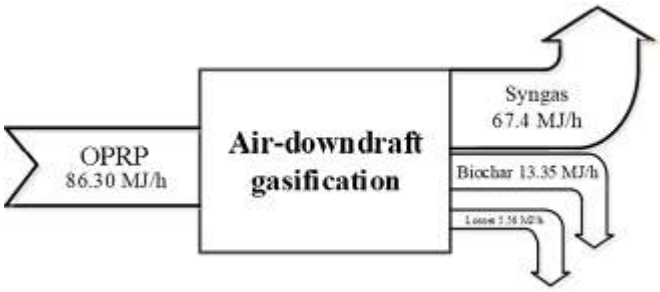



**Figure 23. Sankey Diagram Of The Oil Palm Rachis And Petiole Gasification Process.**

The gasification process is a conversion pathway to add value to the OPRP waste because the syngas can be used as a versatile energy vector or chemical platform. Moreover, the produced biochar can be used as soil enhancer or heat source in boilers for steam generation. The losses associated to the gasification process are about of 5.56 MJ/h, which can be attributed to the heat losses in the equipment and the

irreversibility produced in the chemical reactions inside of the gasifier. The efficiency of the gasification process only considering the generated syngas is about 78.09%, which is similar to the energy efficiency reported by García et al. (2017) using *Pinus Patula* as raw material (i.e., 79.9%). The Sankey diagram showed in Figure 23 does not take into account the energy flow that can be obtained from the tars production. Nevertheless, this fact can be explained due to the low amount of tars produced in the gasification process and this compound does not have a well-established used at industrial or agricultural level in contrast with the syngas and biochar. On the other hand, Antonopoulos et al., (2012) analyzed the energy balance of a downdraft gasifier using olive wood as raw material. The energy efficiency only considering the syngas as energy vector reported by these authors was 82.31%, which is a similar value to the obtained in this work. Therefore, the energy efficiency of the air-downdraft gasification process for softwood and hardwood raw materials varies from 75% to 85%, which indicates high-energy conservation in the gasification process.

**Economic Perspective**

The economic assessment of the syngas (for electricity generation) and biochar generation using the OPRP as raw material was performed. The incomes calculated from the mass flows of syngas and biochar are $4.57 \times 10^{-1}$ USD/h and $3.36 \times 10^{-2}$ USD/h, respectively. Moreover, the total incomes by period (i.e., 1 period = 8000 h) are 3921.50 USD/period. These results were calculated from the unit price of biochar and syngas, which were $4.36 \times 10^{-2}$ USD/kg biochar and $3.97 \times 10^{-2}$ USD/Nm$^3$, respectively. The results obtained from this analysis are similar compared to the reported data from Yao et al., (2018), who reported that the biochar price varies from 0.017 USD/kg to 0.009USD/kg, whereas the syngas price varies from 0.057 USD/kg to 0.077 USD/kg. Nevertheless, the ER is a function of the amount of air employed in the gasification process. Therefore, the ideal amount of air that must be employed in a gasification process varies as a function of the elemental composition of the raw material. One aspect that can affect the quality and price of the biochar is the equivalence ratio (ER), which determines the amount of air used during the gasification process. In this work, the ER used was 0.35, which is close to the optimum ER for gasification experiences (i.e., 0.25). Therefore, the quality and price of the generated syngas is acceptable for electricity generation.

On the other hand, the electricity generation costs were calculated considering two operation periods: The first scenario is considering an electricity generation for 8 hours and the second scenario is considering 24 hours. The summary of the main costs estimated to calculate the unit price of the electricity production costs as well as the total electricity generated for a year are presented in Table 7.

**Table 7. Annualized Costs And Unit Cost Of The Electricity Generation**

| Feature | Electricity generation for 8 h | | Electricity generation 24 h | |
|---|---|---|---|---|
| | USD/year | Share (%) | USD/year | Share (%) |
| Raw material | 216.98 | 3.42 | 651.45 | 7.34 |
| Operating Labor | 1045.33 | 16.48 | 3136.22 | 35.36 |
| Maintenance | 2277.04 | 35.89 | 2277.04 | 25.67 |
| Depreciation | 2805.45 | 44.21 | 2805.45 | 31.63 |
| **Total cost** | 6344.33 | 100 | 8869.22 | 100 |
| **Electricity generated (MWh)** | 10.33 | - | 31.62 | - |
| **Electricity unit cost (USD/kWh)** | 0.614 | - | 0.286 | - |

The results given in Table 7 shows that the fixed capital costs are the most influential cost in the economic analysis. This can be explained due to the low costs associated to the raw material and labor costs. The unit costs for the 8 h period is higher than the unit cost of the electricity generation for a 24 h period. This can be explained since the depreciation cost was calculated using a straight-line method, which considers a constant rate of depreciation. The unit electricity prices are comparable to the current electricity production costs using diesel as energy source. In fact, the electricity generated using this energy source in off-grid zones varies between 0.219 USD/kWh – 0.292 USD/kWh.

**Table 8. Comparison Between Gases Emissions After The Combustion Of Syngas, OPRP And Biodiesel/Diesel**

| Units ($mg/Nm^3$) | Syngas combustion | Direct use OPRP | Biodiesel/Diesel |
|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 108.48 | 166.90 | 193.24 |
| CO | 3.45 | 8.50 | 5.5. |
| $SO_x$ | 0.13 | 0.44 | 0.89 |
| $NO_x$ | 0.27 | 0.76 | 1.14 |
| PM | N.R. | N.R. | 1.40 |

The information presented in Table 8 leads to establish that the transformation of OPRP into syngas through a gasification process impacts favorably the environment

due to the lower carbon dioxide emissions. On the other hand, the use of biodiesel/diesel has higher pollutant emissions than the use of syngas due to the difference in chemical composition of both fuels. Therefore, the use of syngas for electricity generation purposes is recommended.

## CONCLUSION

The gasification technology is a promising thermochemical alternative to upgrade biomass and produce electricity as well as value-added products. Nevertheless, the syngas application range depends on the gas quality in terms of heating value and $H_2$/CO ratio. In the specific case of an air-downdraft gasifier, the syngas produced only can be used for electricity generation. Raw materials with high availability such as the oil palm waste can be profiled as potential feedstock to be used in gasification processes to reduce waste management problems and supply electricity in off-grid zones. According to the results obtained, the use of OPRP as raw material and the implementation of the gasification plant is promising. However, more research must be performed to elucidate the feasibility of this process in different rural and urban contexts.

## CONFLICT OF INTERESTS.

The authors declare that they do not have potential conflict of interests.

## FINANCIAL SUPPORT

This work was supported by the Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias, grant number 761 Jóvenes Investigadores).

## REFERENCES

Akay, G., & Jordan, C. A. (2011). Gasification of fuel cane bagasse in a downdraft gasifier: Influence of lignocellulosic composition and fuel particle size on syngas composition and yield. *Energy and Fuels*, *25*(5), 2274–2283. https://doi.org/10.1021/ef101494w

All Power Labs. (2009a). Instrumented softwood chip run 091609.

All Power Labs. (2009b). Instrumented walnut shell run 082409.

All Power Labs. (2015). Biomass Feedstock Requirements. In *Power pallet technicians manual* (pp. 1–20).

Anco S. Blazev. (2015). *Energy Security for The 21st Century*. CRC Press.

Ang, B. W., Choong, W. L., & Ng, T. S. (2015). Energy security: Definitions, dimensions and indexes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *42*, 1077–1093. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.064

Antonopoulos, I. S., Karagiannidis, A., Gkouletsos, A., & Perkoulidis, G. (2012). Modelling of a downdraft gasifier fed by agricultural residues. *Waste Management*, *32*(4), 710–718. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.12.015

Atnaw, S. M., Kueh, S. C., & Sulaiman, S. A. (2014). Study on tar generated from downdraft gasification of oil palm fronds. *The Scientific World Journal*, *2014*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2014/497830

Atnaw, S. M., Sulaiman, S. A., & Yusup, S. (2013). Syngas production from downdraft gasification of oil palm fronds. *Energy*, *61*, 491–501. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.039

Atnaw, S. M., Sulaiman, S. A., & Yusup, S. (2014). Influence of fuel moisture content and reactor temperature on the calorific value of Syngas resulted from gasification of oil palm fronds. *The Scientific World Journal*, *Article ID*, 9 pages. https://doi.org/10.1155/2014/121908

Bach, Q.-V., & Skreiberg, Ø. (2016). Upgrading biomass fuels via wet torrefaction: A review and comparison with dry torrefaction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 665–677. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.014

Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design*. Elsevier Inc.

BP. (2017). BP Statistical Review of World Energy. In *BP Statistical Review of World Energy*. London, UK.

Brown, R. C. (2011). *Thermochemical Processing of Biomass: Conversion into Fuels,Chemicals and Power*. https://doi.org/10.1002/9781119990840

Chern, S. M., Walawender, W. P., & Fan, L. T. (1989). Mass and energy balance analyses of a downdraft gasifier. *Biomass*, *18*(2), 127–151. https://doi.org/10.1016/0144-4565(89)90089-9

Couto, N., Rouboa, A., Silva, V., Monteiro, E., & Bouziane, K. (2013). Influence of the biomass gasification processes on the final composition of syngas. *Energy Procedia*, *36*, 596–606. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.068

Dong, J., Tang, Y., Nzihou, A., Chi, Y., Weiss-Hortala, E., Ni, M., & Zhou, Z. (2018). Comparison of waste-to-energy technologies of gasification and incineration using life cycle assessment: Case studies in Finland, France and China. *Journal of Cleaner Production*, *203*, 287–300. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.139

Fernandes, I. J., Calheiro, D., Kieling, A. G., Moraes, C. A. M., Rocha, T. L. A. C., Brehm, F. A., & Modolo, R. C. E. (2016). Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy. *Fuel*, *165*, 351–359. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.086

Fryda, L., & Visser, R. (2015). Biochar for Soil Improvement: Evaluation of Biochar from Gasification and Slow Pyrolysis. *Agriculture*, *5*(4), 1076–1115. https://doi.org/10.3390/agriculture5041076

García, C. A., Betancourt, R., & Cardona, C. A. (2017). Stand-alone and biorefinery pathways to produce hydrogen through gasification and dark fermentation using Pinus Patula. *Journal of Environmental Management*, *203* part 2, 695–703.

https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.04.001

García, C. A., Moncada, J., Aristizábal M., V., & Cardona, C. A. (2017). Techno-economic and energetic assessment of hydrogen production through gasification in the Colombian context: Coffee Cut-Stems case. *International Journal of Hydrogen Energy*, *42*(9), 5849–5864. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.073

García, C. A., Morales, M., Quintero, J., Aroca, G., & Cardona, C. A. (2017). Environmental assessment of hydrogen production based on Pinus patula plantations in Colombia. *Energy*, *139*, 606–616. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.012

García, C. A., Peña, Á., Betancourt, R., & Cardona, C. A. (2017). Energetic and environmental assessment of thermochemical and biochemical ways for producing energy from agricultural solid residues: Coffee Cut-Stems case. *Journal of Environmental Management*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.029

Gil, J., Corella, J., Aznar, M. P., & Caballero, M. A. (1999). Biomass gasification in atmospheric and bubbling fluidized bed: Effect of the type of gasifying agent on the product distribution. *Biomass and Bioenergy*, *17*(5), 389–403. https://doi.org/10.1016/S0961-9534(99)00055-0

Islas, J., Manzini, F., Masera, O., & Vargas, V. (2019). Solid Biomass to Heat and Power. In *The Role of Bioenergy in the Bioeconomy*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813056-8.00004-2

Khartchenko, N. V, & Kharchenko, V. M. (2010). *Advanced energy systems* (2nd editio). CRC Press, Taylor and Francis.

Kitzler, H., Pfeifer, C., & Hofbauer, H. (2011). Pressurized gasification of woody biomass—Variation of parameter. *Fuel Processing Technology*, *92*(5), 908–914. https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2010.12.009

Martínez, J. D., Mahkamov, K., Andrade, R. V., & Silva Lora, E. E. (2012). Syngas production in downdraft biomass gasifiers and its application using internal combustion engines. *Renewable Energy*, *38*(1), 1–9. https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.07.035

Molino, A., Chianese, S., & Musmarra, D. (2016). Biomass gasification technology: The state of the art overview. *Journal of Energy Chemistry*, *25*(1), 10–25. https://doi.org/10.1016/j.jechem.2015.11.005

Nhuchhen, D. R., & Abdul Salam, P. (2012). Estimation of higher heating value of biomass from proximate analysis: A new approach. *Fuel*, *99*, 55–63. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.04.015

Ouadi, M., Brammer, J. G., Kay, M., & Hornung, A. (2013). Fixed bed downdraft gasification of paper industry wastes. *Applied Energy*, *103*, 692–699. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.038

Overend, R. P. (2009). Direct Combustion of Biomass. In E. E. Shpilrain (Ed.), *Renewable energy sources charged with energy from the sun and originated from Earth-Moon interaction* (Volume 2, pp. 74–101). Encyclopedia of Life Support Systems.

Renewable energy policy network for the 21st century (REN21). (2018). Renewables

2017 global status report. *Paris: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*, 325. https://doi.org/978-3-9818911-3-3

Rong, L., Maneerung, T., Ng, J. C., Neoh, K. G., Bay, B. H., Tong, Y. W., … Wang, C. H. (2015). Co-gasification of sewage sludge and woody biomass in a fixed-bed downdraft gasifier: Toxicity assessment of solid residues. *Waste Management*, *36*, 241–255. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.026

Sobamowo, G. M., & Ojolo, S. J. (2018). Techno-Economic Analysis of Biomass Energy Utilization through Gasification Technology for Sustainable Energy Production and Economic Development in Nigeria. *Journal of Energy*, *2018*, 1–16. https://doi.org/10.1155/2018/4860252.

Solarte-Toro, J. C., Chacón-Pérez, Y., & Cardona-Alzate, C. A. (2018). Evaluation of biogas and syngas as energy vectors for heat and power generation using lignocellulosic biomass as raw material. *Electronic Journal of Biotechnology*, *33*, 52–62. https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2018.03.005

Sulaiman, S. A., Balamohan, S., Moni, M., Atnaw, S. M., & Mohamed, A. (2015). Feasibility study of gasification of oil palm fronds. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, *9*, 1744–1757. https://doi.org/10.15282/jmes.9.2015.20.0168

Surendra, K. C., Takara, D., Hashimoto, A. G., & Khanal, S. K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *31*, 846–859. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.015

Tan, J. P., Jahim, J. M., Harun, S., Wu, T. Y., & Mumtaz, T. (2016). Utilization of oil palm fronds as a sustainable carbon source in biorefineries. *International Journal of Hydrogen Energy*, *41*(8), 4896–4906. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.08.034

Tan, P., Zhang, C., Xia, J., Fang, Q. Y., & Chen, G. (2015). Estimation of higher heating value of coal based on proximate analysis using support vector regression. *Fuel Processing Technology*, *138*, 298–304. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.06.013

US Energy Information Administration. (2017). Annual energy outlook 2017 with projections to 2050. In *US Energy Information Administration*. https://doi.org/DOE/EIA-0383(2012) U.S.

Waldheim, L. Nilsson, T. (2001). Heating value of gases from biomass gasification. In *IEA Bioenergy Agreement, Task 20 - Thermal Gasification of Biomass*.

Wang, J., Mao, T., Sui, J., & Jin, H. (2015). Modeling and performance analysis of CCHP (combined cooling, heating and power) system based on co-firing of natural gas and biomass gasification gas. *Energy*, *93*, 801–815. https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.091

Yao, Z., You, S., Ge, T., & Wang, C. H. (2018). Biomass gasification for syngas and biochar co-production: Energy application and economic evaluation. *Applied Energy*, *209*(July 2017), 43–55. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.077

Yoder, J., Galinato, S., Granatstein, D., & Garcia-Pérez, M. (2011). Economic tradeoff between biochar and bio-oil production via pyrolysis. *Biomass and Bioenergy*, *35*(5),

1851–1862. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.026

Yoon, S. J., Son, Y. Il, Kim, Y. K., & Lee, J. G. (2012). Gasification and power generation characteristics of rice husk and rice husk pellet using a downdraft fixed-bed gasifier. *Renewable Energy*, *42*, 163–167. https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.08.028.

# DETAILED COMPARISON OF HYDROGEN CONCENTRATION MODELLING IN DIFFERENT METAL MATRICES

Burak BAL, Abdullah Gul University, burak.bal@agu.edu.tr

Syed Faiz ALI, Abdullah Gul University, faiz.ali@agu.edu.tr

Fasih Munir MALIK, Abdullah Gul University, fasih.malik@agu.edu.tr

**ABSTRACT**: The hydrogen concentration contours are analyzed using an iterative modeling approach. The contours in 4 different metal matrices are modeled and analyzed with respect to variance in diffusivity in BCC and FCC crystal lattice structures in the presence of an edge dislocation and under static external loading. The effect of alloying elements on iron in allowing the hydrogen to enter the tensile region is discussed. The contours of hydrogen are modeled and studied in both near-by edge dislocation and far away from the dislocation.

**Key words:** Hydrogen embrittlement, hydrogen diffusion, finite element modeling, modelling, crystal structure

## INTRODUCTION

Hydrogen Embrittlement (HE) is a well-known phenomenon and holds its vitality in terms of affecting the mechanical properties of various metals (Tiwari et al, 2000). The HE phenomenon was first studied by Johnson almost a century back (Johnson, 1875) and since then it has widely being studied by numerous material-scientists and other experts.

HE is a phenomenon which hydrogen atoms to diffuse into the metals degrade mechanical properties (Luo et al, 2013). This imperfection incepted in metals causes hindrance to the dislocation movements inside the metals. Dislocations movement is an essential driving force for material to exhibit the plastic deformation. Hydrogen interstitials restricting the plastic deformation leads the material to the brittle behavior (Bal et al, 2016). Hence, it reduces the ductility of the material and therefore, allowing failure to occur without any observable warning as necking does not take place. Often, hydrogen atoms diffuse into the metals during the manufacturing process, at higher stress levels, at elevated temperature levels, and in enriched hydrogen concentrations. Secondly, the HE causes the fracture-stress to decrease and the material undergoes fracture at lower stress (Symons, 1998).

It is of vital importance to be aware of hydrogen concentration in the metal matrix, being induced due to the diffusion of hydrogen in metal matrix under certain

conditions, in order to predict the HE mechanism active at time (Bal, 2017). The experimental approach to measure or to calculate the diffused hydrogen concentration in a metal matrix is expensive, and therefore values the non-expensive approach of using computational power to simulate the diffused hydrogen concentration.

Over the years, different mechanisms describing the HE phenomenon have been proposed including Hydrogen Enhanced Localized Plasticity (HELP), Hydrogen Induced Decohesion (HID), and Stress-Induced Hydride Formation and Cleavage (SIHFC).

HELP mechanism in HE substantiates the lowering of interaction energy between dislocation movement and the hindrance. This allows the localized induced plasticity in the material. Therefore, the intrinsic material flow stress is lower in hydrogen concentrated region of in non-homogeneously distributed hydrogen bearing metal. The position of material flow stress therefore, depends on the position (Beachem, 1972).

HID mechanism deals with the concentration of hydrogen at crack tip. The dislocation movement carries the hydrogen to the crack tip. To point it here, the dislocation movement is not needed to instigate the localized fracture other than to serve as carrier of hydrogen. The micro crack introduced by hydrogen joins the already cracked vertex and propagation takes place. The hydrogen that is carried to crack tip increases the hydrostatic stress. This weakens the interatomic bonds at crack tip by separating the crystal along a crystallographic plane (Geng et al, 1999).

SIHFC mechanisms occurs due to the concentration of hydride ions at the localized stress regions such as crack tips. It is an iterative fracture which means that the hydride induced stress at crack tips propagates the crack and ultimately the brittle fracture takes place. It is also well established that in this mechanism the plastic deformation also occurs, therefore; the brittle fracture rendered by hydride induced stress is dependent on strain rate (Office of Naval Research, 1989).

## THEORY

The carrier mobility of hydrogen plays a vital role in deciding the HE active mechanism. Therefore, to define the hydrogen contours around the dislocation is necessary as the hydrogen induced stress field depends on the distribution of hydrogen in vicinity of dislocation (Bal, 2017). In this paper the different materials which are prone to hydrogen embrittlement are modeled in finite element analysis program to model the hydrogen concentration around the dislocation and also far away from the dislocation.

Once the hydrogen is diffused into the material, in this case metals, it finds it place in either the interstitial lattice sites or the reversible trap sites (Taha & Sofronis, 2001). The positional placement of hydrogen depends on the lattice sites and the trap binding energy (Liang et al, 2004). Due the presence of outside introduced hydrogen the expansion causes the volumetric strain in the hydrogen occupied augment. The

vacancies at micro structural level offers the room to hydrogen and therefore, hydrostatic region at the edge dislocation, specifically, holds a vital importance of hydrogen surroundings as it is the potential point of fracture or the point of inception for fracture (Bal, 2017).

In this paper, the hydrogen contours around the edge dislocation in different metals have been modeled with respect to hydrogen concentration at distant and nearby positional displacement (burger vector). The modeling is conducted with zero flux boundary conditions and with singularity considered at the edge dislocation augment. The diffusion of hydrogen is set to be based on static external parameters i.e. observed without any external parametric influence. Iterative approach is adopted in modeling the hydrogen contours. COMSOL Multiphysics, Finite Element Analysis, software is used to model the results.

## CALCULATIONS

The diffused hydrogen in metal, fits the normal interstitial sites due to the low potential energy property of interstitial sites. In general, hydrogen tends to get attracted to the augment with greater binding energy, relatively (Taha & Sofronis, 2001). Once, the interstitial sites get filled then hydrogen fills the vacant places like grain boundaries, dislocation, or voids.

The partial derivative of concentration with respect to time is defined as Flux (**J**). The **J** is proportional to the gradient of chemical potential as defined by the following equations:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{\Omega} c\, d\Omega + \frac{\partial}{\partial t}\int_{\partial\Omega} J \,.\, n dS = 0 \quad (1)$$

$$J = -m\Delta\mu \quad (2)$$

Hence,

$$J = -\frac{Dc}{RT}\Delta\mu \quad (3)$$

In equation 1, **J** is the flux, **c** is the hydrogen concentration, and **n** is the outward normal vector to surface $\partial\Omega$..

In equation 2, **D** is the diffusion coefficient of hydrogen, **R** is the universal gas constant, **μ** is the chemical potential, and **T** is the temperature. The negative sign denotes the flow in field from high potential region to low potential region of hydrogen.

The flux **J** is therefore, the prime means of activating the hydrogen diffusion, hydrogen concentration and hydrogen coefficient in the metal matrix.

$$J = -D\Delta c - \frac{D<V_H>}{RT} c\Delta \frac{\sigma_{kk}}{3} \quad (4)$$

The equation 3 is formulated after substitution of **μ initial** and **μ stressed**. Where $\mathbf{V_H}$ is partial molar volume of hydrogen and $\boldsymbol{\sigma_{kk}}$ is the applied stress. Therefore, the final equation defining the diffusion in terms of flux **J** is as follows:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\Delta J \quad (5)$$

Hence,

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D\Delta^2 c - \frac{D<V_H>}{RT}\{c\Delta^2 \frac{\sigma_{kk}}{3} + \Delta c\Delta \frac{\sigma_{kk}}{3}\} \quad (6)$$

The change in flux **J** is defined as partial derivative of concentration with respect to time, displacing form higher concentrated region to the lower concentrated region. For further details of the calculations refer to (Barrera et al, 2016). Equations 1 to 6 are retrieved from (Barrera et al, 2016).

## METHODOLOGY

The Finite Element Analysis (FEM) is used to model the hydrogen concentration contours in the vicinity of edge dislocation in the metal matrices, provided the static external parametric influence. COMSOL Multiphysics is used to model the results. The properties of metals that are modeled are given in the table below.

**Table 1. Properties of Metal Matrices**

| **Material** | **AISI-4130** | **X-750** | **Iron** | **Aluminum-7050** |
|---|---|---|---|---|
| Burger's Vector (B) | $2.580\times 10^{-10}$ | $2.580\times 10^{-10}$ | $2.478\times 10^{-10}$ | $3.64\times e^{-10}$ |
| Partial Molar Volume of Hydrogen (VH) [$m^3$/mol] | $2.00\times 10^{-6}$ | $1.72\times 10^{-6}$ | $2.66\times 10^{-6}$ | $1.65\times 10^{-6}$ |
| Shear Modulus (G) [Pa] | $8.077\times 10^{10}$ | $8.256\times 10^{10}$ | $8.600\times 10^{10}$ | $2.70\times 10^{10}$ |
| Young's Modulus (E) [Pa] | $2.1\times 10^{11}$ | $2.13\times 10^{11}$ | $2.00\times 10^{11}$ | $1.17\times 10^{10}$ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Poisson's Ratio (v) | | 0.300 | 0.290 | 0.300 | 0.33 |
| Diffusion Coefficient (D) [ $m^2/s$] | | $1.41\times 10^{-8}$ | $4.20\times 10^{-15}$ | $7.02\times 10^{-9}$ | $2.2\times 10^{-14}$ |
| Molar Volume of Metal Matrix (VM) | | $1.183\times 10^{-6}$ | $6.87\times 10^{-6}$ | $7.11\times 10^{-6}$ | $1.08\times 10^{-5}$ |

**Table 2. Constants Used In Equations**

| **T [K]** | **Co [mol/×$m^3$]** | **R [J/(mol×K)]** | **NA [1/mol]** | **Kb [m2×kg/(s2×K)]** |
|---|---|---|---|---|
| 298 | 1 | 8.134 | $6.022\times10^{23}$ | $1.38\times10^{-23}$ |

## RESULTS

As shown in the figure 1 below the AISI-4130 metal matrix observed the hydrogen concentration contours in compressive and tensile region. The sign of burger vector for metal is positive demonstrated. In the tensile region there appears to be only one contour expanding away from the edge dislocation. To the nearest of edge dislocation, the value of concentration is 17.83mol/ $m^3$ which represents the highest value for hydrogen concentration. As we move away from the center of dislocation the hydrogen concentration decreases.

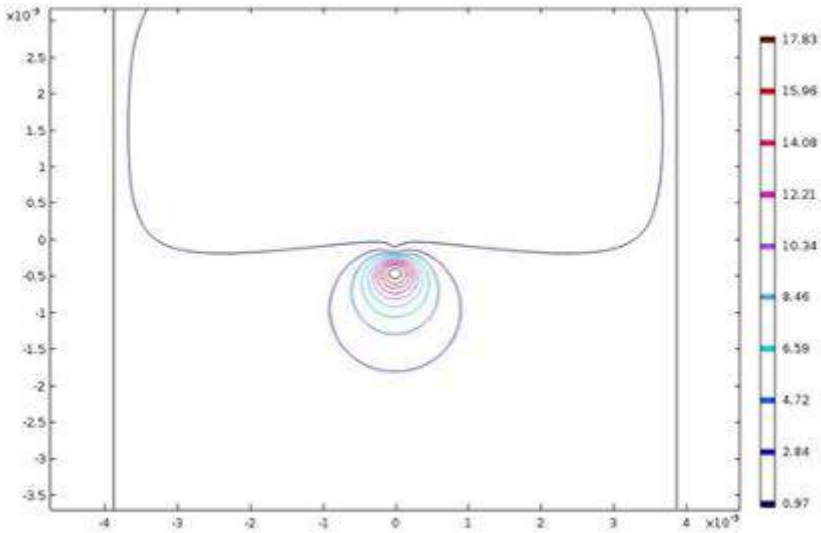



Figure 1. The hydrogen contours around the edge dislocation in AISI-4130 [c(mol/m$^3$)]

As shown in the figure 2 below the hydrogen contours in metal X-750 are present in both tensile and compression region. Like AISI-4130 the X-750 also shows only one contour in tensile region. It is to be noted that the demonstrated burger vector for the X-750 shows the positive sign. The highest concentration of hydrogen is at near edge dislocation in the compression region which is 12.25 mol/m$^3$. The concentration of hydrogen decreases as we move further from the dislocation center.

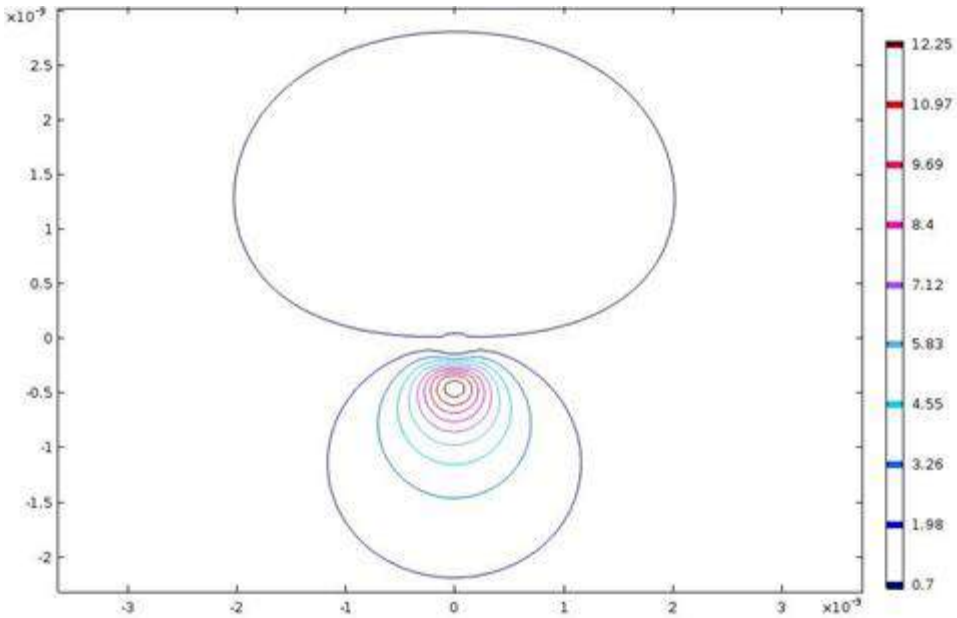



Figure 2. The hydrogen contours around the edge dislocation in X-750 [c(mol/m$^3$)]

As shown in the figure 3 below, in iron matrix there is no hydrogen contour present in the tensile region. The concentration of hydrogen is highest near the edge dislocation in iron is 57.16 mol/ m$^3$ and the concentration of hydrogen decreases as we move further from the dislocation.

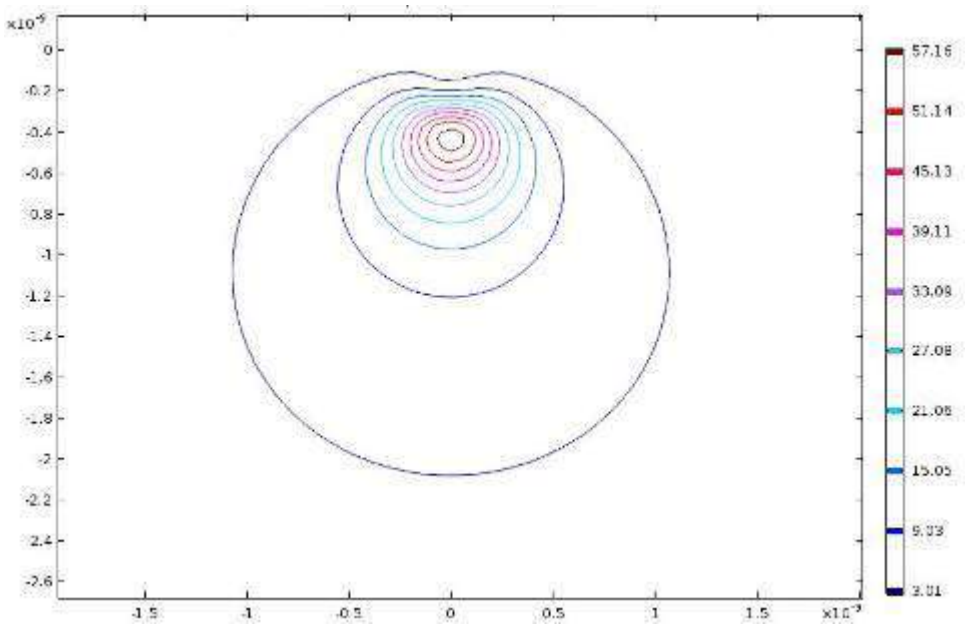



Figure 3. The hydrogen contours around the edge dislocation in Iron [c(mol/ $m^3$)]

As shown in the figure 4 below, the aluminum metal also holds the hydrogen contours in both; compressive and tensile region. The highest value of concentration in the compression region is nearly 2.31 mol/ $m^3$, which is near to the edge dislocation and the concentration decreases further from the dislocation center. The partial molar volume of aluminum was not found in the literature. Therefore, the authors used the partial molar volume of FCC crystal structure of 316L stainless-steel (Ilin.D, 2014).

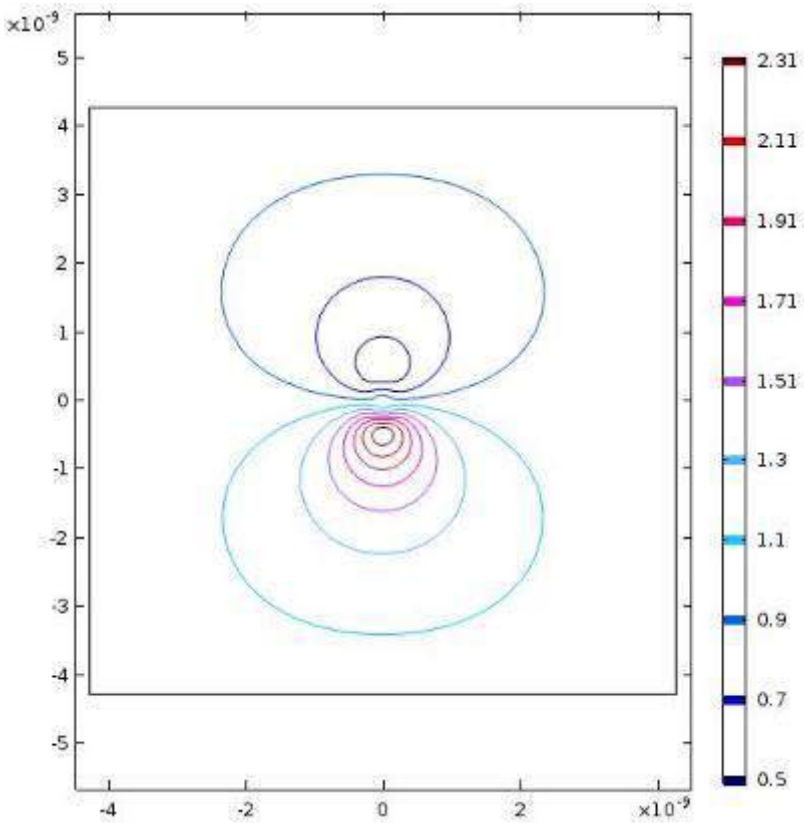



**Figure 4. The hydrogen contours around the edge dislocation in Alumunium-7050 [c(mol/**$m^3$**)]**

## DISCUSSIONS

In this study the hydrogen distribution appeared to be symmetric with respect to edge dislocation plane in all 4 metals. This is primarily a result of symmetric hydrostatic stress field of hydrogen (Bal, 2017). The highest concentration was observed near the edge dislocation in the metal matrices which in accordance to the study conducted by (Bal, 2017) in niobium metal matrix. Except iron, the other metals held the hydrogen concentration in tensile region and compression region. The iron, however; restricted hydrogen to compression region only. The iron has the highest concentration around the edge dislocation whereas aluminum-7050 has the lowest hydrogen concentration around the edge dislocation in the compressive region.

The close-packed structures i.e. FCC in aluminuim-7050 case, the diffusivity of hydrogen is low as compared to BCC structures like iron has. This makes them more resistive as less hydrogen is induced fluxed in the metal matrix system causing the hydrostatic stress at the defect sites. The results in this study show the Aluminum having the lowest hydrogen concentration in the compressive region while Iron observing the highest concentration of hydrogen at near the dislocation in the compressive region due to the FCC and BCC structures, as described by (Hirata. K et al, 2018), of the lattices, respectively under static external influence.

The results of iron diffusion are also in agreement with the study by (Evers et al, 2013) which states that in the ideally dissolved hydrogen in iron matrix the hydrogen is considered almost unperturbed in the lattice sites. And the other hydrogen has the interactions with the lattice defects and cannot be considered as diffused hydrogen. These interaction keeps the hydrogen strongly bounded to the lattice defects. In this study the iron results showed the iron mobility restricted to the compressive region only. Due to the edge dislocation the defect site is in under compression and agrees with the finding of Stefan Evers et al of hydrogen strongly bounded to the lattice defects and hence not diffusing to tensile region.

The AISI-4130 is the alloy steel having the highest concentration of chromium alloying of up to 1.1%. In the results the AISI-4130 showed around 78% less highest concentration contour than to iron. This agrees with the (Grabke & Riecke, 2000) who state in their study the lowering effect of alloying elements of hydrogen diffusivity in the matrix. AISI-4130 is BCC structure at the room temperature; and therefore, the crystal lattice structure is not effective in lowering the hydrogen diffusivity in matrix unlike Alumunium-7050 which is FCC.

## CONCLUSIONS

The hydrogen concentration is investigated in this paper using iterative modeling approach. The hydrogen concentration contours are modeled around the edge dislocation in 4 metal matrices. The hydrogen concentration contours around the edge dislocations are modeled for AISI 4130, Iron, X-750, and Aluminuim-7050 meatal matrices. The paper concludes on the following points observed in the analysis:

The highest concentration is observed at the edge dislocation and decreases with the burger vectors away from the edge dislocation.

The hydrogen distribution remained symmetric with respect to edge dislocation plane in all 4 matrices.

Except Iron, all the metal matrices observed the concentration presence in both regions: tensile and compression.

All 4 metal matrices showed the highest concentration near the edge dislocation which is in the compressive region.

The impurity lowers the hydrogen diffusivity in the iron matrix.

The FCC structure has the lower hydrogen diffused in lattice system compared to BCC structures.

**REFERENCES**

B. Bal, I. Sahin, A. Uzun, and D. Canadinc, "A new venue toward predicting the role of hydrogen embrittlement on metallic materials,". *Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 47, no. 11, pp. 5409–5422, 2016.*

Barrera, E Tarleton, H W Tang, and A C F Cocks. Modelling the coupling between hydrogen diffusion and the mechanical behavior of metals. *Computational Materials Science, 122:219–228, 2016*

B. Bal, "Numerical Investigation of the Role of Volumetric Transformation Strain on the Relaxation Stress and the Corresponding Hydrogen Interstitial Concentration in Niobium Matrix," *Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2017, Article ID 2036516, 7 pages, 2017*

D. Beachem, "A new model for hydrogen-assisted cracking (hydrogen 'embrittlement')," *Metallurgical and Materials Transactions, vol. 3, pp. 437–451, 1972.*

Dmitrii Ilin. Simulation of hydrogen diffusion in fcc polycrystals. Effect of deformation and grain boundaries: effect of deformation and grain boundaries. *Mechanics [physics.med-ph]. Université de Bordeaux, 2014. English. ffNNT : 2014BORD0157ff. fftel-01136181f*

Evers, S., Senöz, C., & Rohwerder, M. (2013). Hydrogen detection in metals: a review and introduction of a Kelvin probe approach. *Science and Technology of Advanced Materials, 14(1), 014201. doi: 10.1088/1468-6996/14/1/014201*

G. P. Tiwari, A. Bose, J. K. Chakravartty et al., "A study of internal hydrogen embrittlement of steels," *Materials Science and Engineering A, vol. 286, no. 2, pp. 269–281, 2000.*

Hirata, K. Iikubo, S. Koyama, M. Tsuzaki, K. and Ohtani, H. "First-Principles Study on Hydrogen Diffusivity in BCC, FCC, and HCP Iron". *Metallurgical and Materials Transactions1543-1940 https://doi.org/10.1007/s11661-018-4815-9 10.1007/s11661-018-4815-9, 2018*

H.J. Grabke, E. Riecke. "ABSORPTION AND DIFFUSION OF HYDROGEN IN STEELS". *Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH, Postfach 140444, 40074 Düsseldorf, Germany. 34(6)331, 2000.*

M. Symons, "The effect of carbide precipitation on the hydrogen-enhanced fracture behavior of alloy 690,". *Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 29, no. 4, pp. 1265–1277, 1998.*

Mechanisms of hydrogen related fracture. *Office of Naval research. (1989).*

Taha and P. Sofronis, "A micromechanics approach to the study of hydrogen transport and embrittlement," *Engineering Fracture Mechanics, vol. 68, no. 6, pp. 803–837, 2001.*

W. H. Johnson, "On some remarkable changes produced in iron and steel by the action of hydrogen and acids," *Proceedings of the Royal Society of London, vol. 23, pp. 168–179, 1875.*

W.T. Geng, A.J. Freeman, R. Wu, C.B. Geller, J.E. Raynolds Embrittling and strengthening effects of hydrogen, boron, and phosphorus on a 5-nickel grain boundary. *Phys Rev B 60(10):7149–7155. (1999)*

Y. Liang, P. Sofronis, and R. Dodds, "Interaction of hydrogen with crack-tip plasticity: effects of constraint on void growth," *Materials Science and Engineering. A, vol. 366, no. 2, pp. 397– 411, 2004.*

Y. Qi, H. Luo, S. Zheng, C. Chen, and D. Wang, "Effect of immersion time on the hydrogen content and tensile properties of A350LF2 steel exposed to hydrogen sulfide environments," *Corrosion Science, vol. 69, pp. 164– 174, 2013.*

# EVALUATION OF DESICCANT DRYING SYSTEM DESIGNED FOR DRYING FOOD WITH LOW TEMPERATURE IN DIFFERENT CLIMATE CONDITIONS

Kamil Neyfel ÇERÇİ, Osmaniye Korkut Ata University, kcerci@osmaniye.edu.tr

Ertaç HÜRDOĞAN, Osmaniye Korkut Ata University, ehurdogan@osmaniye.edu.tr

**ABSTRACT:** The moisture content of foods and seeds must be reduced to a certain level in food drying or seed breeding. The drying air must be at low temperature in order to preserve the color, taste, vitamin content and structure of foods during drying, to obtain high quality dried food and to maintain germination of seed separated products. However, drying air at low temperature causes an increase in drying time. In addition, in areas with high humidity, drying time increases and molds can develop and leads to loss of quality and product in foods. At the same time, mitotoxins formed as a result of mold can cause health problems such as mutagen, carcinogen, teratogen, tremorgen. In order to avoid these problems, drying time should be reduced. Modern and energy saving drying systems with low drying air temperature have been interest of many researchers to maintain product quality and save energy. In this study, a drying system that include two dehumidification processes (desiccant rotor and heat pump) were designed for drying food at low temperature and moisture content to reduce drying times. For this purpose, a model of the designed drying system was developed and system was evaluated for different climatic conditions.

**Key words:** Food Drying, Desiccant Wheel, Heat Pump, Solar Energy

# DÜŞÜK SICAKLIKTA GIDA KURUTMAK İÇİN TASARLANAN NEM ALMALI BİR KURUTMA SİSTEMİNİN FARKLI İKLİM ŞARTLARI İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ

**ÖZET:** Gıda kurutulmasında veya tohum ıslahında gıdaların ve tohumlarının nem içeriğinin belirli bir oranın altına düşürülmesi gerekmektedir. Gıdaların, kurutma esnasında renginin, tadının, vitamin içeriği ve yapısının korunarak, kaliteli kurutulmuş gıda eldesi ve tohumluk olarak ayrılan ürünlerde çimlenme özelliğinin muhafazası için kurutma havasının düşük sıcaklıkta olması gerekmektedir. Fakat kurutma havasının düşük sıcaklıkta olması, kurutma zamanının uzamasına neden olmaktadır. Ayrıca nem oranı yüksek olan bölgelerde, kurutma süresi uzamakta ve bunun neticesinde küfler gelişebilmektedir. Küflenmenin kalite ve ürün kayıplarına sebep olmasının yanı sıra oluşan mitotoksinler mutajen, kanserojen, teratojen, tremorgen gibi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu sorunların önüne geçebilmek için kurutma zamanını azaltmak gerekmektedir. Ürün kalitesini korumak

ve enerji tasarrufu sağlamak için modern ve enerji tasarrufu sağlayıcı düşük sıcaklıklı kurutma sistemleri birçok araştırmacının ilgi alanı olmuştur. Bu çalışmada tasarlanan kurutma sistemiyle iki nem alma işleminin (nem alıcı rotor ile ısı pompası) aynı anda kullanılması sağlanarak düşük sıcaklıkta, nem içeriği düşük hava ile kısa kurutma süreleriyle gıda kurutulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, tasarlanan kurutma sisteminin bir modeli oluşturulmuş ve farklı iklim şartları için değerlendirilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Gıda Kurutma, Nem Alıcı Rotor, Isı Pompası, Güneş Enerjisi

## GİRİŞ

Gıdalar için kurutma, içerisindeki nemin değişik metotlarla alınarak, bozulmasına neden olan etkenlerin ortadan kaldırılması, bir başka ifade ile gıdadaki nemin uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Gıdadaki serbest nem ve ürün içindeki bağlı nem alınırken en uygun olan kurutma yöntemini seçmek, günümüz enerji ve ekoloji dengeleri açısından oldukça önemli hale gelmiştir. [1]. Birçok kurutma yöntemi arasında en sık kullanılanı, tabii kurutma olarak da isimlendirilen günışığında kurutmadır. Güneş enerjisi ile kurutma yapan birçok sistemde enerjiye para ödenmezken bu yöntemle kurutulan ürünlerin orijinal şeklini ve dokusunu (tekstür), taze iken sahip olduğu rengini ve vitamin içeriğini kaybetme eğilimi vardır. Ayrıca kurutma hızının hava şartlarına çok bağlı olması ve hava şartlarının değişiminin kontrol edilmesinin mümkün olmaması, düzgün dağılımlı ürün kalitesinin önüne geçmektedir [2]. Kurutma zamanı, kurutma havası sıcaklığının artması ile kısalmasına rağmen kurutulan ürünlerdeki renk ve tat değişimi, vitamin içeriğindeki değişim ve yapısal bozukluklar (ısıl gerilmelerden kaynaklanan çatlamalar vb.) sıcaklık arttıkça daha fazla gerçekleşmektedir. Özellikle kivi, yerfıstığı gibi ürünler kurutma sıcaklığına çok duyarlıdır. Kurutma sıcaklığı 35 °C üzerine çıktığı zaman yerfıstığının iç yapısında çatlama ve tat değişimi meydana gelmektedir [3]. Gıda kalitesi üzerine artan bu talepler kurutmada yenilikçi fikirlerin gelişmesine sebep olmuştur. Bu yenilikçi fikirler arasında en önemlileri ısı pompalı ve nem almalı (desisif) kurutucular dır. Bu kurutucuların kurutma uygulamalarında kullanılmasındaki avantajlar, sürekli kurutmayı sağlamak (gece-gündüz), kuru havadan dolayı kurutma miktarını arttırmak, daha üniform bir kurutmayı sağlamak ve özellikle ısıya duyarlı ürünler için ürün kalitesini arttırmak olarak sıralanabilir [4]. Bu avantajlar göz önünde bulundurulduğu zaman, ürün kurutma işleminin düşük neme sahip kurutma havası ile gerçekleştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla literatürde kurutma havasından nem uzaklaştırmak için sadece ısı pompası kullanımına dayalı farklı çalışmalar mevcuttur [5-10]. Isı pompalı kurutma sistemlerinde kurutma havasından nem alınabilmesi için nemli hava çiğ noktası sıcaklığı altına kadar ısı pompasının buharlaştırıcısı üzerinden geçirilerek soğutulmakta ve havanın taşıdığı nemin yoğuşması sağlanarak düşük neme sahip kurutma havası elde edilebilmektedir. Fakat sadece buharlaştırıcı ile nem alma işlemi sonucu, ısı pompası sisteminin etkinlik katsayısının düşük olmasına neden olacak ve dolayısıyla ihtiyaç duyulan enerji artacaktır. Bir başka ifadeyle kurutma havası neminin düşük değerlere indirilmesi

işleminin sadece ısı pompası buharlaştırıcısıyla yapılması enerji tüketiminin fazla olması anlamına gelmektedir. Bu anlamda nem alma işleminde buharlaştırıcıya düşen yükü azaltabilmek ve sistem performansını arttırabilmek için nemin bir kısmının farklı ekipmanlarla da alınabilmesinin sağlanması gerekmektedir. Kurutma uygulamalarında buharlaştırıcı yükünü azaltmaya alternatif yöntemler olarak katı ve sıvı nem alıcılar gösterilmektedir [4]. Özellikle düşük sıcaklıkta nem alıcı materyallerin rejenerasyonu enerji verimliliği açısından çok faydalı olmakta ve herhangi bir sistemden atık ısı ya da yenilenebilir enerji kullanımı nem alıcı sistemlerdeki çalışma maliyetini düşürmektedir [4].

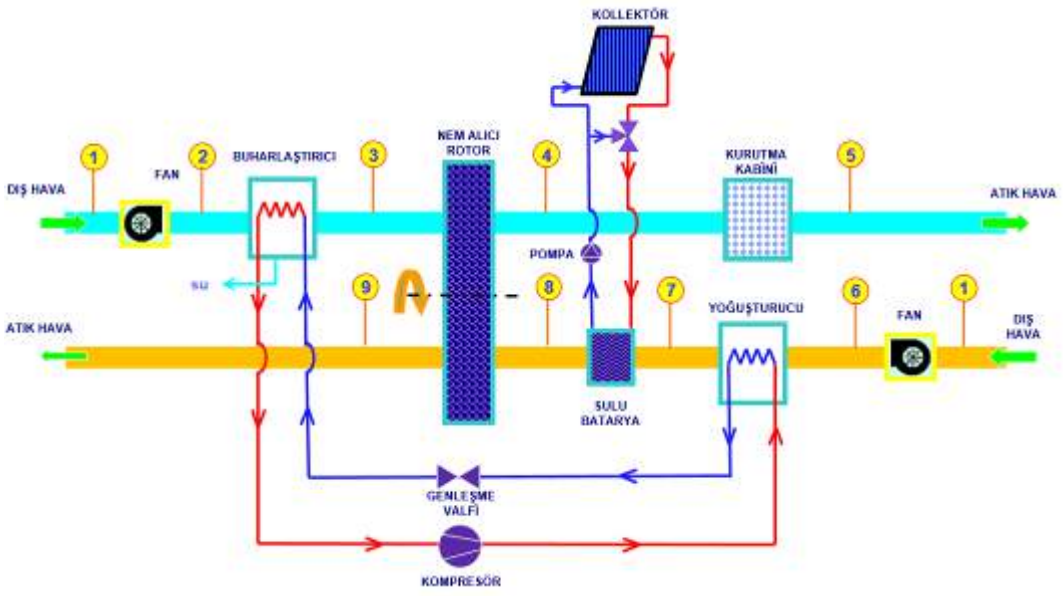
Bu çalışmada, ısı pompası ve nem alıcı döner rotorun birlikte kullanıldığı düşük sıcaklıklı hibrit bir kurutma sistemi tasarlanarak, sistemin bir modeli oluşturulmuş ve farklı iklim şartlarına göre termodinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler doğrultusunda buharlaştırıcı yükü, sulu bataryanın yükü, kompresörün tükettiği güç, sistemin nem alma performans katsayısı, buharlaştırıcı ve nem alıcı rotordan alınan nem miktarlarının değişimi incelenmiştir.

## SİSTEMİN TANITIMI VE MODELLENMESİ

Şekil 1'de tasarlanan sistemin genel görünüşü verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sistemde iki hava kanalı (proses ve rejenerasyon) bulunmaktadır. Bu hava kanallarına, sistemin amacına uygun olarak çeşitli ekipmanlar (nem alıcı rotor, buharlaştırıcı, yoğuşturucu, fan, kurutma kabini, su bataryası) yerleştirilmiştir.

Proses hava kanalına fan vasıtasıyla giren dış hava (1 noktası) öncelikle ısı pompasının buharlaştırcısı üzerinden geçirilmektedir (2→3). Burada hem hava içerisindeki nem yoğuşturularak (üzerinden geçen havanın çiğ noktası sıcaklığının altına kadar soğutma gerçekleştirilerek sağlanacaktır) daha kuru bir hava elde edilmekte, hem de sıcaklığı düşmektedir. Ele alınan sistem düşük sıcaklıkta kurutma için düşünülmüştür. Kuru hava daha sonra nem alıcı rotor üzerinden geçirilerek nemi daha da aşağılara düşürülmekte (3→4) ve kuru, ancak daha yüksek sıcaklıkta (<35 °C) hava elde edilebilmektedir (4 noktası). Aynı anda bir miktar sıcak hava (rejenerasyon havası) ters yönden nem alıcıya gönderilerek (8 noktası) proses havasından çekilen nem, nem alıcı rotor üzerinden uzaklaştırılmaktadır (8→9). Proses havası içerisindeki nemin alınması işlemi iki aşamada (buharlaştırıcı ve nem alıcı rotor) gerçekleştirilmektedir. Bunun iki ana sebebi şu şekilde açıklanabilir. Nem alıcı rotorlarda, nem alma kapasitesini etkileyen en önemli parametrelerden biri rejenerasyon sıcaklığıdır. Rejenerasyon sıcaklığı, rotor üzerinde alınan nemin buharlaştırılarak tamamen uzaklaştırılabilmesi için gerekli olan hava sıcaklığıdır. Düşük rejenerasyon sıcaklığı daha az nem alınması anlamına geldiğinden kurutmanın gerçekleştirilmesi için gerekli çok düşük nem, ısı pompasının buharlaştırıcısı ile sağlanacaktır. Nem alıcı rotorlarda, nem alma kapasitesini etkileyen bir diğer önemli parametre ise giriş havası şartlarıdır (nem ve sıcaklık). Aynı nem değeri için sıcaklığın düşmesi, nem alma kapasitesini artırmaktadır. Nem alıcıdan 4 noktasında kuru bir şekilde çıkan hava, kurutma kabinine gönderilmekte ve ürün üzerindeki nem uzaklaştırılarak kurutma prosesi tamamlanmaktadır (5 noktası). Döner nem alıcıda,

proses havasından çekilen nemin (3→4) uzaklaştırılması için sıcak rejenerasyon havası kullanılmaktadır. Rejenerasyon kanalına emilen dış hava, (1 noktası) ısı pompasının yoğuşturucusu üzerinden geçerek ısınmaktadır (6→7). Isınan hava daha sonra, nemi uzaklaştırmak için gerekli olan sıcaklığı sağlamak amacıyla güneş kollektörleri vasıtasıyla ısıtılan sıcak suyun kullanıldığı su bataryası üzerinden geçirilerek ısıtılmaktadır (7→8). 8 noktasında nem alma ünitesine giren rejenerasyon havası, nem alıcıdaki nemi üzerine alarak soğumakta ve dışarı atılmaktadır (9 noktası).




**Şekil 1.** Sistemin genel görünüşü

Sistemdeki ana bileşenler kompresör, yoğuşturucu, buharlaştırıcı, genleşme valfi, nem alıcı rotor, kurutma kabini ve güneş kollektörlü ısıtıcıdır (su bataryası). Bu çalışmada, evaporatörde gerçekleşen ısı transferi ($\dot{Q}_b$) gizli ve duyulur ısı transfer mekanizmaları ile gerçekleşmiştir.

$$\dot{Q}_b = \dot{Q}_d + \dot{Q}_g \quad (1)$$

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_{ph} \cdot (h_2\text{-}h_3) \quad (2)$$

$$T_b = T_3\text{-}\Delta T_b \quad (3)$$

Burada$\dot{Q}_d$ duyulur ısı transfer miktarı (kW), $\dot{Q}_g$ buharlaşmadan kaynaklı gizli ısı transfer miktarı (kW), $\dot{m}_{ph}$ proses havasının kütlesel debisi (kg/sn), $h_2$ ve $h_3$ sırasıyla 2 ve 3 noktasındaki entalpi (kJ/kg) değerleridir. $T_b$ buharlaşma sıcaklığıdır (°C), $\Delta T_b$ buharlaşma sıcaklığı ve 3 noktasının arasındaki sıcaklık farkıdır (°C).

Sistemde bulunan yoğuşturucuda gerçekleşen ısı transfer miktarını hesaplamak için Eşitlik (4), (5) ve (6)'den faydalanılmıştır. Yoğuşturucuya rejenerasyon havası 6 noktasından girmekte ve 7 noktasından çıkmaktadır. Bu esnada yoğuşturucudan rejenerasyon havasına ısı atılmaktadır.

$$COP_{SM} = \frac{\dot{Q}_b}{\dot{W}_k} \quad (4)$$

$$\dot{Q}_y = \dot{m}_{rh} \cdot (h_7\text{-}h_6) \quad (5)$$

$$T_y = T_7 + \Delta T_y \quad (6)$$

Burada $\dot{Q}_y$, yoğuşturucunun ısı transfer miktarını vermektedir (kW). $T_y$ yoğuşma sıcaklığı (°C), $\Delta T_y$ yoğuşma sıcaklığı ve 7 noktasının arasındaki sıcaklık farkıdır (°C). $COP_{SM}$ ise soğutma makinesinin performans katsayısıdır [11].

Sistemde kullanılan su bataryası, güneşten elde ettiği ısıyı ($\dot{Q}_k$ (kW)), 7 noktasındaki rejenerasyon havasına vererek, nem alıcı rotor girişindeki rejenerasyon sıcaklığının elde edilmesini sağlamaktadır. Su bataryasının ısı transfer miktarını hesaplamak için gerekli eşitlikler aşağıda verilmiştir [12];

$$\eta_k = \text{-}11.235 \cdot \left(\frac{T_m\text{-}T_o}{\dot{q}}\right)^2 \text{-}3.4165 \cdot \left(\frac{T_m\text{-}T_o}{\dot{q}}\right) + 0.728 \quad (7)$$

$$\dot{Q}_k = \eta_k \cdot F \cdot \dot{q} \quad (8)$$

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_{sb} \quad (9)$$

$$\dot{Q}_{sb} = \dot{m}_{rh} \cdot (h_8\text{-}h_7) \quad (10)$$

Burada $\eta_k$ kollektör verimini (%), $T_m$ sisteme giren/çıkan suyun ortalama sıcaklığı (K), $T_o$ dış ortam havasının sıcaklığı (K), $\dot{q}$ güneş ışınım akısı (W/m²), F güneş kollektörünün yüzey alanı (m²), $\dot{Q}_{sb}$ rejenerasyon havasını katı nem alıcı rotora girmeden önce istenilen sıcaklığa çıkarılması için aktarılan ısı transfer miktarı (kW), $\dot{m}_{rh}$ ise rejenerasyon havasının kütlesel debisidir (kg/sn).

Nem alıcı rotordan proses hava kanalında çıkan havanın özellikleri (4 noktası) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir [13,14,15].

$$F_{1,i} = \frac{\text{-}2865}{(T_i+273.15)^{1.49}} + 4.344 \cdot \left(\frac{W_i}{1000}\right)^{0.8624} \quad (11)$$

$$F_{2,i} = \frac{(T_i+273.15)^{1.49}}{6360} \text{-}1.127 \cdot \left(\frac{W_i}{1000}\right)^{0.07969} \quad (12)$$

$$\eta_{F1} = \frac{F_{1,2}\text{-}F_{1,1}}{F_{1,3}\text{-}F_{1,1}} \quad (13)$$

$$\eta_{F2} = \frac{F_{2,2}\text{-}F_{2,1}}{F_{2,3}\text{-}F_{2,1}} \quad (14)$$

$$\Delta F_1 = F_{1,3}\text{-}F_{1,1} \quad (15)$$

$$\Delta F_2 = F_{2,3}\text{-}F_{2,1} \quad (16)$$

$$\eta_{F1} = a1 + a2 \cdot \dot{V} + a3 \cdot \Delta F_1 + a4 \cdot \dot{V}^2 + a5 \cdot \dot{V} \cdot \Delta F_1 + a6 \cdot \Delta F_1{}^2 + a7 \cdot \dot{V}^3 + a8 \cdot \dot{V}^2 \cdot \Delta F_1 + a9 \cdot \dot{V} \cdot \Delta F_1{}^2 + a10 \cdot \Delta F_1{}^3 + a11 \cdot \dot{V}^3 \cdot \Delta F_1 + a12 \cdot \dot{V}^2 \cdot \Delta F_1{}^2 + a13 \cdot \dot{V} \cdot \Delta F_1{}^3 + a14 \cdot \Delta F_1{}^4 \quad (17)$$

$$\eta_{F2} = b1 + b2 \cdot \dot{V} + b3 \cdot \Delta F_2 + b4 \cdot \dot{V}^2 + b5 \cdot \dot{V} \cdot \Delta F_2 + b6 \cdot \dot{V}^3 + b7 \cdot \dot{V}^2 \cdot \Delta F_2$$
(18)

Burada, $F_{1,1}$ ve $F_{2,1}$ nem alıcı rotora proses kanalından giren havanın (3 noktası) karakteristik potansiyelleridir. $F_{2,1}$ ve $F_{2,2}$ nem alıcı rotorda proses kanalından çıkan havanın (4 noktası) karakteristik potansiyelleridir. $F_{1,3}$ ve $F_{2,3}$ nem alıcı rotora rejenerasyon kanalından giren havanın (8 noktası) karakteristik potansiyelleridir. $\eta_{F1}$ ve $\eta_{F2}$ nem alıcı rotorun verimlilik faktörleridir. $\Delta F_1$ ve $\Delta F_2$ karakteristik potansiyel farklarıdır. $\dot{V}$ hacimsel debidir ($m^3/h$). $\eta_{F1}$ ve $\eta_{F2}$ değerlerinin hesaplanmasında kullanılan sabitler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** $\eta_{F1}$ ve $\eta_{F2}$ değerlerinin hesaplanmasında kullanılan sabitler [15]

| | |
|---|---|
| Eşitlik 17 | a1=0.03235, a2=-0.002886, a3=6.734, a4=8.204×10$^{-6}$, a5=0.0004009, |
| | a6=-41.55, a7=-6.929×10$^{-09}$, a8=-5.047×10$^{-06}$, a9=0.006358, |
| | a10=101.8, a11=4.071×10$^{-09}$, a12=7.24×10$^{-07}$, a13=-0.01002, a14=-87.73 |
| Eşitlik 18 | b1=1.744, b2=-0.00882, b3=-0.4722, b4=2.556×10$^{-05}$, b5=-0.002296, |
| | b6=-2.227×10$^{-08}$, b7=2.299×10$^{-06}$ |

Kurutucu kabine giren proses havası ile ürün arasında ısı ve kütle transferi gerçekleşmektedir. Üründen uzaklaştırılan nem miktarını ve kabinden çıkan havanın özelliklerini belirlemek için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır [16,17].

$$G = V \cdot \rho$$
(19)

$$h_c = 413.5 \cdot G^{0.37}$$
(20)

$$\dot{m}_{kh} = (h_c \cdot (T_4 - T_{4s}))/(\rho_y \cdot h_{fg} \cdot s) \quad (21)$$

$$\dot{m}_{kh} = \dot{m}_{ph} \cdot (w_5 - w_4) \quad (22)$$

Burada V havanın hızı (m/s), ρ havanın yoğunluğu ($kg/m^3$), $h_c$ ısı transfer katsayısı ($W/m^2K$), G ise kabine giren havanın kütle akış hızıdır ($kg/m^2sn$). $\dot{m}_{kh}$ sabit kuruma hızı ($kg/m^2s$), $\rho_y$ ürün yığın yoğunluğu ($kg/m^3$), s ise ürün kalınlığıdır (m). $T_4$ ve $T_{4s}$ sırasıyla kurutma kabinine giren havanın kuru ve ıslak termometre sıcaklıklarıdır (°C).

Bu çalışma kapsamında tasarlanan kurutma sisteminin performansını (COPs) belirlemek için Eşitlik 23 ve 24 kullanılmıştır [18].

$$COP_s = \frac{\dot{m}_{pa} \cdot h_{fg} \cdot (W_1 - W_4)}{\dot{W}_c} \quad (23)$$

$$COP_s = \frac{\dot{m}_{pa} \cdot (h_1 - h_4)}{\dot{W}_c} \quad (24)$$

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, tasarlanan nem almalı kurutma sisteminin modellenmesi yapılmıştır. Modelin oluşumu için gerekli çözümlemeler için, MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Hesaplamalarda, Tablo 2'de verilen giriş parametreleri göz önünde bulundurulmuştur. Analizlerde ürün olarak düşük sıcaklıklarda (<35 °C) kurutulması uygun olan yerfıstığı ürünü seçilmiştir [19,20]. Tablo 3'de sistemin farklı dış hava koşullarındaki performansının araştırılabilmesi amacıyla ele alınan Osmaniye, Mersin ve Antalya illerinin yaz sezonu dış hava dizayn şartları verilmiştir. Bu iller Türkiye'de yerfıstığının yetiştiği iller arasından seçilmiştir [21].

**Tablo 2.** Analizlerde kullanılan giriş parametreleri

| **Parametre** | **Değer** |
|---|---|
| Buharlaştırıcı çıkışında çiğ noktası sıcaklığı (°C) | 14 |
| Buharlaştırıcı çıkışında rölatif nem (%) | 95 |
| Proses havasının hacimsel debisi ($m^3/h$) | 600 |
| Rejenerasyon havasının hacimsel debisi ($m^3/h$) | 600 |
| Su bataryasında giriş/çıkış ortalama sıcaklığı (°C) | 55 |
| Nem alıcı rotora rejenerasyon havasından giriş sıcaklığı (°C) | 70 |
| Ürünün yığın yoğunluğu ($kg/m^3$) | 480 |
| Ürün kalınlığı (mm) | 5 |
| Tepsinin taban alanı ($m^2$) | 1 |
| Buharlaşma sıcaklığı ve 3 noktası arasındaki sıcaklık farkı (°C) | 3 |
| Yoğuşma sıcaklığı ve 7 noktası arasındaki sıcaklık farkı (°C) | 3 |
| Yoğuşma sıcaklığı (°C) | 55 |

**Tablo 3.** Analizleri yapılan illerin dış hava dizayn şartları [22]

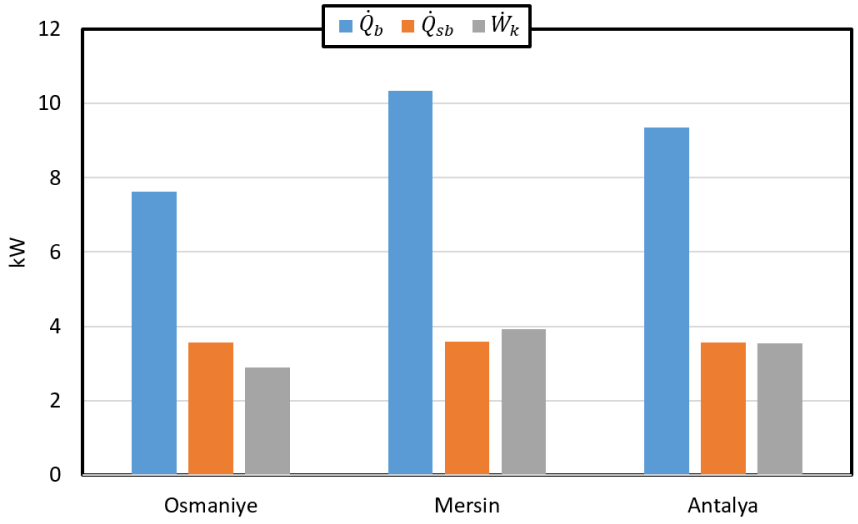
| **İller** | **Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)** | **Yaş Termometre Sıcaklığı (°C)** | **Mutlak Nem ($g_ş/kg_{kh}$)** |
|---|---|---|---|
| Osmaniye | 38 | 26 | 16.26 |
| Mersin | 35 | 29 | 23.03 |
| Antalya | 39 | 28 | 19.41 |

Şekil 2'de buharlaştırıcı yükü, su bataryası yükü, kompresörün tükettiği güç parametrelerinin Osmaniye, Mersin ve Antalya illerinin iklim koşulları için hesaplanmış değerleri verilmiştir. Şekilden, nem alıcı rotorun 70 °C rejenerasyon sıcaklığında çalıştığı durumda, hem 35°C'den düşük sıcaklıkta, hem de olabildiğince kuru hava elde edilmesi istendiği için dış hava koşullarına bağlı olarak tüm illerde buharlaştırıcı yükünün ($\dot{Q}_b$) değişim gösterdiği ve en yüksek değerini Mersin ili, en düşük ise Osmaniye ilinde meydana geldiği görülmüştür. Mevcut iller arasında Mersin ili en yüksek nem miktarına sahiptir. Bu sebeple Mersin ilinde istenilen düşük nem değerinin elde edilebilmesi için buharlaştırıcı yükünün diğer illere göre daha yüksek olmuştur. Buna bağlı olarak en düşük buharlaştırıcı yükü mutlak nemi en düşük olan Osmaniye ilinde gözlemlenmiştir. Bu durum aynı zamanda Osmaniye ilinde kompresörün tükettiği gücün en düşük olması durumunu da açıklamaktadır.

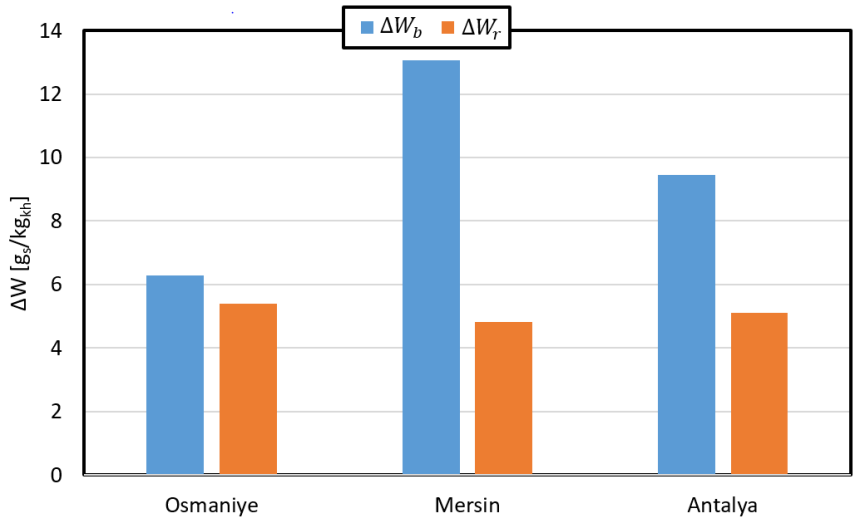
Şekil 3'de farklı iklim şartlarına göre sırasıyla sistemdeki buharlaştırıcıdan ve nem alıcı rotordan alınan nem miktarlarının değişimi verilmiştir. Nem alıcı rotorun 70 °C rejenerasyon sıcaklığında çalıştığı durumda, istenilen kurutma havası şartlarının elde edilmesi için mutlak nem miktarı en yüksek olan Mersin ilinde buharlaştırıcıdan en çok nem alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Buharlaştırıcıdan en az nemin alındığı il ise Osmaniye ilidir. Çünkü dış ortamın nem miktarının az olması buharlaştırıcıdan daha az nem alınmasına dolayısıyla kompresörün daha az enerji tüketmesine sebep olmuştur. Nem alıcı rotora proses havasından giren havanın şartları ve rejenerasyon sıcaklığının aynı olması durumuna rağmen illere göre nem alıcı rotorun nem alma performansı farklılık göstermiştir. Nem alıcı rotordan en çok nem Osmaniye ili iklim koşullarında alınmıştır. Çünkü Osmaniye ilinde diğer illere göre proses giriş şartları ve rejenerasyon sıcaklığı aynı olmasına rağmen dış ortamın mutlak neminin daha düşük olması nem alıcı rotorun rejenerasyon kanalından daha çok nem alınmasına sebep olmuştur. Mersin ilinde ise bu değer en düşüktür.

Şekil 4'de farklı iklim koşullarına göre istenilen kurutma havası şartlarının sağlanması için sistemin nem alma performans parametresinin ($COP_{s.}$) değişimi incelenmiştir. Sistemde nem alıcı rotorda alınan nem miktarı dış hava şartına bağlı olarak fazla bir değişim göstermemektedir (Şekil 3). Şekil 4'den görüldüğü gibi, Mersin ilinde sistemin performans parametresi en yüksek değerdedir. Bunun sebebi, yüksek dış hava neminden dolayı proses havasından uzaklaştırılan nem miktarının fazla olmasıyla buharlaştırıcı yükünün ($\dot{Q}_b$) kompresörün tükettiği güce ($\dot{W}_k$) oranla daha çok olmasından dolayıdır.

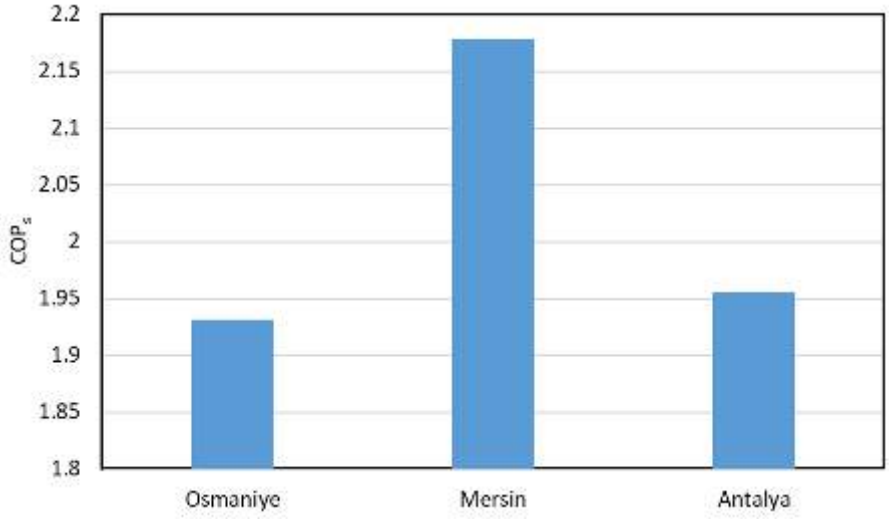
Şekil 5'de sırasıyla Osmaniye (a), Mersin (b) ve Antalya (c) illerinin iklim koşulları göz önünde bulundurularak tüm noktalar için hesaplanan değerlerin psikrometrik diyagram üzerinde değişimleri gösterilmiştir. Dış iklim şartlarına göre sistemdeki noktaların değişimi psikrometrik diyagram üzerinden de görülebilmektedir. Mersin ilinde diğer illere kıyasla istenilen kurutma havası şartları için buharlaştırıcıdan alınan nem miktarı daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.



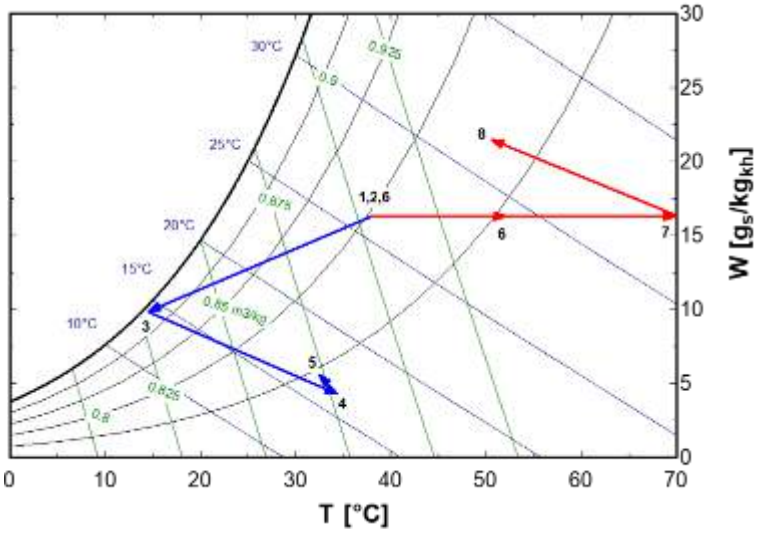

**Şekil 2.** Buharlaştırıcı, su bataryası yükü ve kompresörün tükettiği gücün illere göre değişimi



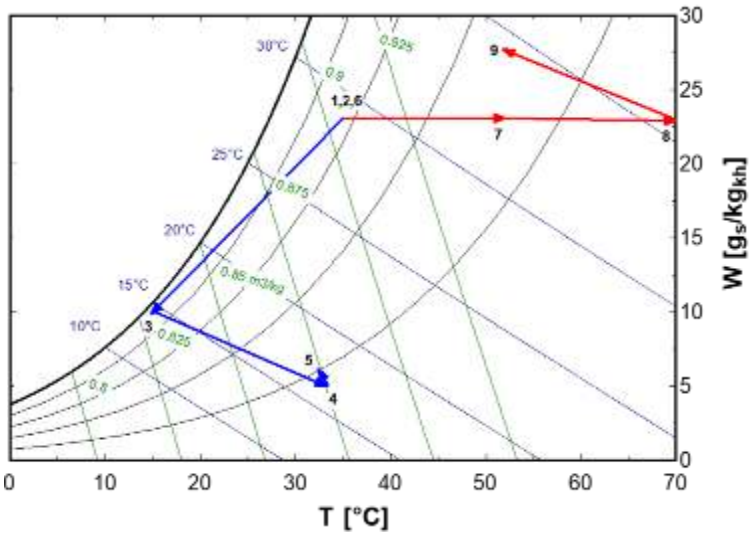

**Şekil 3.** Farklı iklim koşullarına göre sırasıyla buharlaştırıcı ve nem alıcı rotordan alınan nem miktarları



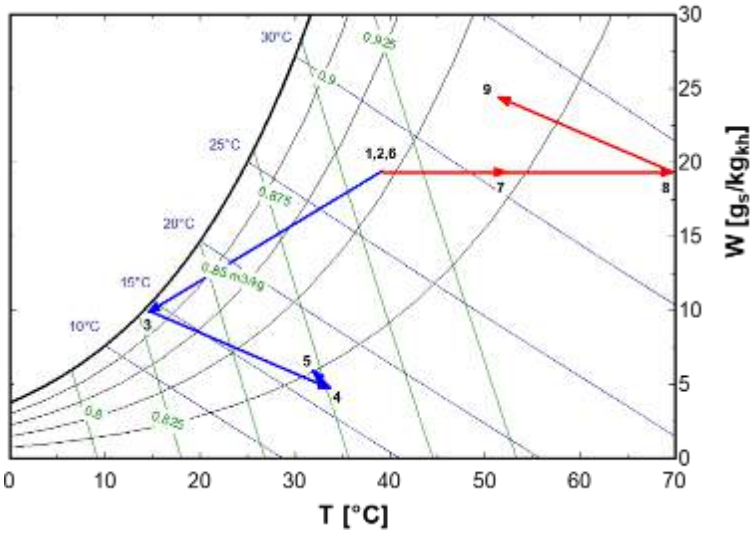

**Şekil 4.** Farklı iller için $COP_s$'nin değişimi




(a)




(b)




(c)

**Şekil 5.** Osmaniye (a), Mersin (b) ve Antalya (c) iklim koşullarında sistemdeki tüm noktaların psikrometrik diyagram üzerindeki gösterimi

## SONUÇ

Bu çalışmada, tasarlanan düşük sıcaklıkta nem almalı bir kurutma sisteminin farklı iklim koşullarına göre performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde en yüksek mutlak nem değerine sahip olan Mersin ili için buharlaştırıcı yükü, dolayısıyla kompresörün tükettiği güç yüksek çıkmıştır. En düşük mutlak nem değerine sahip olan Osmaniye ilinde ise buharlaştırıcı yükü ve kompresörün tükettiği güç değeri en düşüktür. Osmaniye ilinde dış hava mutlak nem değerinin düşük olması sebebiyle, aynı rejenerasyon sıcaklığı ve rotora proses kanalından giren hava şartlarında, nem alıcı rotorun nem alma performansı en yüksek olarak bulunmuştur. Sistemin performans katsayısına bakıldığında ise en yüksek değer Mersin ili için elde edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) tarafından OKÜBAP-2018-PT3-015 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı OKÜBAP'a teşekkür ederiz.

**KAYNAKLAR**

[1] Ceylan,I., Aktaş, M., (2008). Isı pompası destekli bir kurutucuda fındık kurutulması. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., (C:23, No 1), 215-222.

[2] Nagaya, K., Li, Y., Jin, Z., Fukumuro, M., Ando, Y., Akaishi, A., (2006). Low-temperature desiccant-based food drying system with airflow and temperature control. Journal of Food Engineering, 75, 71-72.

[3] Butts, C.L., Williams, E.J., Sanders, T.H. (2002). Algorithms for automated temperature controls to cure peanuts. Postharvest Biology and Technology, 309-316.

[4] Misha, S., Mat, S., Ruslan, M.H., Sopian, K., (2012). Review of solid/liquid desiccant in the drying applications and its regeneration methods. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 4686-4707.

[5] Chua, K. J., Chou, S. K., Ho, J. C., Hawlader, M. N. A., 2002, "Heat pump drying: recent developments and future trends", Drying Technology, 1579-1610.

[6] Colak, N., Hepbasli, A., 2009, A review of heat pump drying: Part 1 – Systems, Models and Studies. Energy Conversion and Management, 2187-2199.

[7] Colak, N., Hepbasli, A., 2009, A review of heat-pump drying (HPD): Part 2 – Applications and performance assessments. Energy Conversion and Management, 2187-2199.

[8] Lee, K. H., Kim O. J., 2009, Investigation on drying performance and energy savings of the batch-type heat pump dryer. Drying Technology, 565-573.

[9] Zhang, J., Zhang, H.H., He, Y.L., Tao, W.Q., 2016. A comprehensive review on advances and applications of industrial heat pumps based on the practices in China. Applied Thermal Energy, 178, 800-825.

[10] Liu, S., Li, X., Song, M., Li, M., Li, H., Sun, Z. (2018). Experimental investigation on drying performance of an existed enclosed fixed frequency air source heat pump drying system. Applied Thermal Engineering, 130, 735-744.

[11] Van Schijndel, A. W. M., Qiao, Z., Yang, Y. (2012). 777777Y700 Sustainable Building and System Modelling, Case Study.

[12] Hürdoğan, E., Yılmaz, T., Büyükalaca, O. (2010). Akdeniz kıyı bölgesi için adsorbsiyonlu güneş enerjisi destekli iklimlendirme sistemi. Tesisat Dergisi, Sayı: 172, 150-158.

[13] Jurinak, J.J. (1982). Open-cycle Solid Desiccant Cooling – Component Models and System Simulation, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin, Madison.

[14] Panaras, G., Mathioulakis, E., Belessiotis, V., Kyriakis, N. (2010). Experimental Validation of a Simplified Approach for a Desiccant Wheel Model, Energy and Buildings, 42, 1719-1725.

[15] Çerçi, K.N., Hürdoğan, E., KARA, O. (2019). Katı Nem Alıcı Bir Rotorun Farklı Çalışma Şartları için Modellenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(2), ss. 267-277.

[16] Fellows, P., Food Processing Technology. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England, 2000.

[17] Cemeroğlu, B., Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 2010.

[18] Antonellis, S.D., Intini, M., Joppolo, C.M., Romano, F. (2016). On the control of desiccant wheels in low temperature drying processes. International Journal of Refrigeration, 70, 171-182.

[19] Rotimi, D. (2009). Some Physical Properties of Groundnut Grains. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 1(2), 10-13.

[20] Beasley, E.O. Dickens, J.W. (1963). Engineering research in peanut curing, Tech. N.C. Agricultural Experiment Station., 155.

[21] Kadiroğlu, A. Yerfıstığı yetiştiriciliği. Batı akdeniz tarımsal araştırma enstitüsü müdürlüğü, Antalya, 2018.

[22] "Alarko-carrier/teknik destek" Erişim adresi: https://www.alarko-carrier.com.tr/tr/TeknikDestek/DisHavaTasarimSicakliklari.pdf, Erişim Tarihi: 18.01.2017.

# MANUFACTURING OF A FINNED TYPE SOLAR AIR COLLECTOR AND INVESTIGATION OF ITS PERFORMANCE IN OSMANIYE CLIMATE CONDITIONS

Doğan Burak SAYDAM
Osmaniye Korkut Ata University
dburaksaydam@gmail.com

Kamil Neyfel ÇERÇİ
Osmaniye Korkut Ata University
kcerci@osmaniye.edu.tr

Ertaç HÜRDOĞAN
Osmaniye Korkut Ata University
ehurdogan@osmaniye.edu.tr

Coşkun ÖZALP
Osmaniye Korkut Ata University
coskunozalp@osmaniye.edu.tr

**ABSTRACT:** Turkey is a country with high solar energy potential due to its geographical location. Solar energy is an important renewable energy source because it can be evaluated with different processes and equipments. Solar air collectors are one of the devices used to obtain heat energy from the sun. Due to the simple technology for installation and low equipment costs, solar collectors are usually used in space heating applications and drying processes (textiles and food). There are several types of absorber plates which are formed in different types to improve the heat transfer coefficient between the absorber plate and the air in the solar collectors. One of most important of these applications is the finned absorber plate. The main objective is to increase the heat transfer between the absorber and the air. In this study, a solar air collector, where fins are created by giving obstacles to the collector absorber plate, was designed, manufactured and experimentally tested . in the climatic conditions of Osmaniye province. The experiments were carried out for two consecutive days and collector thermal efficiency was calculated using temperature, humidity and radiation data measured at different points on the collector. At the end of the study, it was observed that the air temperature of the designed solar collector could be increased by 35 $^{o}$C and average collector efficiency was approximately 45%.

**Key words:** Solar Air Collector, Solar Energy, Osmaniye, Thermal Efficiency

**KANATÇIKLI TİP BİR HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN İMALATI VE OSMANİYE İKLİM ŞARTLARINDA PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**ÖZET:** Türkiye, coğrafi konumundan dolayı yüksek güneş enerji potansiyeline sahip bir ülkedir. Güneş enerjisi, farklı proses ve ekipmanlar ile değerlendirilebiliyor olmasından dolayı önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Havalı güneş kolektörleri güneşten ısı enerjisi elde etmek için kullanılan araçlardan birisidir. Kurulumlarının basit teknolojiye sahip olması ve ekipman maliyetlerinin düşük olmasından dolayı güneş kolektörleri tekstil, gıda gibi alanlarda kurutma ve mahal ısıtma uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Havalı güneş kolektörlerinde bulunan yutucu plaka ile hava arasındaki ısı transfer katsayısını iyileştirmek için farklı tiplerde oluşturulmuş birçok yutucu plaka tipi bulunmaktadır. Bu uygulamalardan önemli olanlardan bir tanesi de kanatçıklı yutucu plakadır. Yutucu plaka üzerine yerleştirilen kanatçıklar ile yutucu plaka ile hava arasındaki ısı transferinin artırılması temel amaçtır. Bu çalışmada, kolektör yutucu plakasına engeller verilerek kanatçık oluşturulan bir havalı güneş kolektör tasarlanmış, imal edilmiş ve Osmaniye ili iklim koşullarında deneysel olarak test edilmiştir. Deneyler kesintisiz iki gün süre ile yapılmış ve kolektör üzerinde farklı noktalarda ölçülen sıcaklık, nem ve ışınım verileri kullanılarak kolektör ısıl verimi hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonunda, tasarımı yapılan güneş kolektöründe, hava sıcaklığında 35 $^{o}$C'lik artış elde edilebileceği ayrıca ortalama kolektör veriminin yaklaşık %45 olduğu görülmüştür.

**Anahtar sözcükler:** Havalı Güneş Kolektörü, Güneş Enerjisi, Osmaniye, Isıl Verim

## GİRİŞ

Sanayi devrimi, kentleşmeyi, sanayileşmeyi, ekonomik ve sosyal modernleşmenin bir baskın yolu olarak açığa çıkartmıştır. Buna bağlı olarak dünyadaki nüfus artışı ve sanayileşmenin etkisi ile enerji gereksinimi de her geçen gün artmaya devam etmektedir [1]. Fosil kaynakların yeterli olmayışı ve çevreye verdiği zararlar göz önüne alındığında alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden de temiz yollarla ısı ve güç elde etmek mümkündür. Güneş enerjisinden ısı elde etmede yaygın olarak kullanılan uygulamalardan birisi havalı güneş kolektörleridir. Havalı güneş kolektörleri, kolay kurulum ve düşük maliyetlere sahip cihazlar olmanın yanında bakım maliyetlerinin de çok düşük olmasından dolayı tercih edilmektedirler. Kurutma, iklimlendirme sistemleri, seralar ve damıtma sistemleri gibi birçok uygulamada, ısı ihtiyacını havalı güneş kolektörleri ile karşılaşmak mümkündür [2,3]. Temelde havalı güneş kolektörlerinin çalışma prensibi; güneşten gelen ışınımı cam tabakası altından akan akışkana ileterek akışkan ile ısı transferi gerçekleştirerek akışkanın sıcaklığı artırmaktır. Hava kolektörleri içerisinde yaygın olarak düz plaka kullanılmaktadır. Düz plakalı kolektörlerin yutucu plakası ile akışkan olarak kullanılan hava arasındaki düşük konvektif ısı transfer katsayısı nedeniyle ısıl verimleri düşüktür [4]. Havalı

güneş kolektörlerinin ısıl performansı toplayıcı malzemesinin şekline, boyutuna ve içerisinde bulunan kanatçık yapılarına bağlıdır. Literatürde, çeşitli şekil ve boyutlara sahip farklı malzemeler kullanılarak performans iyileştirmesi sağlanabildiği belirtilmiştir. Emici plaka ve hava arasındaki ısı transfer katsayısını iyileştirme yöntemlerinin bazıları, oluklu bir emici plaka, matris tipi emici plaka, V tipi emici plaka kullanımıdır[5].

Havalı güneş kolektörlerinde farklı yutucu plakalar ile ısıl verim analizi, enerji analizi, kolektörlerin imalat ve tasarımı ile ilgili literatürde birçok çalışma görmek mümkündür [6-12]. Karsli [8], kolektör içerisinde bulunan emici plaka üzerine farklı açılarda kanatlar vererek kolektörün verimliliğini birinci ve ikinci yasa verimine göre incelemiştir. Verimler %20-80 arasında değişmiş ve en yüksek kolektör verimliliği 75° kanat açısına sahip kolektörde çıkmıştır. Fudholi ve Sopian [9], kurutma uygulamalarında yoğun olarak kullanılan güneş kolektörlerin enerji ve ekserji analizi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada iç mekan testlerinde, düz plakalı havalı güneş kolektörünün enerji ve ekserji verimleri sırasıyla % 30 ile % 79 ve % 8 ile % 61 arasında değiştiğini gözlemlenmiştir. Gürel ve ark. [10] yaptıkları çalışmada, dünyada farklı uygulamalarda mahal ısıtmasında kullanılan havalı güneş kolektörlerini incelemişlerdir. Yazarlar havalı güneş kolektörlerinin kargo depoları, hangarlar, kapalı otoparklar, hayvan barınakları gibi hacimlerin ön ısıtması veya direk ısıtılmasında kullanılabileceğini göstermişlerdir.

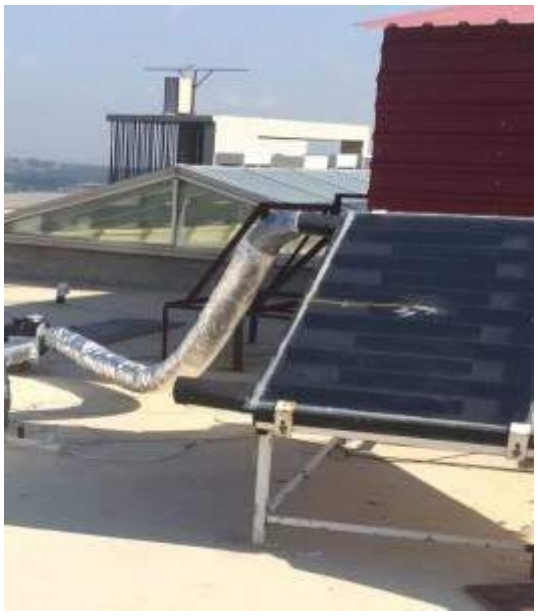
Bu çalışmada, engelli tip kanatçık modeline sahip bir havalı güneş kolektörünün imalatı yapılarak, performansı Osmaniye iklim şartlarına göre deneysel olarak incelenmiştir.

## YÖNTEM

Tasarımı yapılan kanatçıklı havalı güneş kolektörünün imalat aşamaları Şekil 1'de yer almaktadır. Havalı güneş kolektörü Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi'nin Makine Metal Bölümü atölyelerinde imal edilmiştir. Kasası pleksiglastan yapılmış 195x95x12 cm ölçülerindeki (1,70 $m^2$) kolektör içerisine engellerin bulunduğu plaka yerleştirmeden önce ısı kayıplarının azaltılması amacıyla alt ve yan yüzeyleri alüminyum kaplı camyünü ısı yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır (Şekil 1-a). Akışkanın kolektör içerisinde daha fazla dolaşmasını sağlamak ve bu sayede ısı transferini artırmak için alüminyum plaka üzerine yine alüminyumdan imal edilen engeller yerleştirilmiştir (Şekil 1-b). Daha sonra plaka üzerine kolektöre dış ortam havasının kolektöre girebilmesi için kolektör giriş ağzı ve emici plaka içerinde dolaşan havanın kolektörden çıkabilmesi için kolektör çıkış ağzı eklenmiştir (Şekil 1-c). Engellerin ve hava giriş çıkış ağzının oluşturulmasından sonra plaka, emiciliği yüksek kolektör boyası ile boyanmıştır (Şekil 1-d). Bu sayede kolektör yüzeyine düşen ışınımdan maksimum oranda faydalanmak hedeflenmiştir. Boya işleminin ardından plaka kurumaya bırakılmış ve kuruduktan sonra yüzeye, geçirgenliği yüksek kolektör camı montajı yapılmıştır. Montajlanan cam ile kolektör yüzeyi arasında birleşim

yerlerinden meydana gelebilecek hava sızıntılarının önlenmesi amacıyla hava geçişinin olduğu tüm bağlantı noktaları ve alanlar silikon kullanılarak kapatılmıştır (Şekil 1-e). Silikonun kurumasının ardından kolektör, deneylerin gerçekleştirileceği Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çatısına güneşten maksimum fayda sağlayabilmesi için yüzeyi güneye bakacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 1-e). Ek olarak havalı güneş kolektörü içerisinden geçecek olan havanın sirkülasyonunu sağlamak için 170W gücünde 650 $m^3$/saat (maks.) debiye sahip hız kontrollü radyal tip bir fan kullanılmıştır. Şekil 2'de ise deneylerin yapıldığı kolektörün son hali yer almaktadır.

**Şekil 1. Kanatçıklı havalı güneş kolektörün imalat aşamaları**



**Şekil 2. Kanatçıklı havalı güneş kolektörünün son halinin görünüşü**

Güneş kolektörüne giren taze hava, kolektör içinde ısınarak bir fan yardımıyla sistemden çekilmektedir. Sistemin performansını belirleyebilmek amacıyla sistem üzerinde farklı notlarda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde farklı parametrelerin (sıcaklık, nem, hava hızı) ölçülmesi ve anlık olarak belirli aralıklarla (15 dk) kaydedilebilmesi için bilgisayar destekli bir veri toplama ünitesi kullanılmıştır. Tablo 1'de sistem üzerinde farklı bölgelerde yapılan ölçümlerde ve analizlerde kullanılan cihazlar yer almaktadır.

**Tablo 1. Ölçümlerde ve Analizlerde Kullanılan Cihazlar**

| **Cihaz** | **Ölçüm Parametreleri** | **Hassasiyet** |
|---|---|---|
| TESTO 435 | Hava Hızı | 0.1 m/s |
| COLE PARMER Isıl Eleman Çifti | Sıcaklık | 0.1 °C |
| EPLUSE Nem Ölçer | Rölatif nem | 2-3 % |
| IOTECH PD3001Veri Kaydedici | Veri kayıt | 16 bit |
| FRONIUS Işınım Ölçer | Işınım | ±%5 |

İmalatı yapılan kanatçıklı güneş kolektöründe havaya aktarılan enerji miktarını hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$\dot{Q} = \dot{m}.C_p.(T_g - T_ç) \quad (1)$$

Burada, $\dot{m}$, kolektörden geçen havanın kütlesel debisi (kg/s), $C_p$ havanın özgül ısısı (J/kgK), $T_g$ ve $T_ç$ sırasıyla kolektör hava giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır (°C). Kolektörden geçen havanın kütlesel debisi ise Eşitlik 2 kullanılarak belirlenmiştir.

$$\dot{m} = \rho . VA_ç \tag{2}$$

Eşitlikte ρ havanın yoğunluğu (kg/m$^3$), V hava akış hızı (m/s), $A_ç$ ise kolektörün çıkış kesit alanı (m$^2$)'dır.

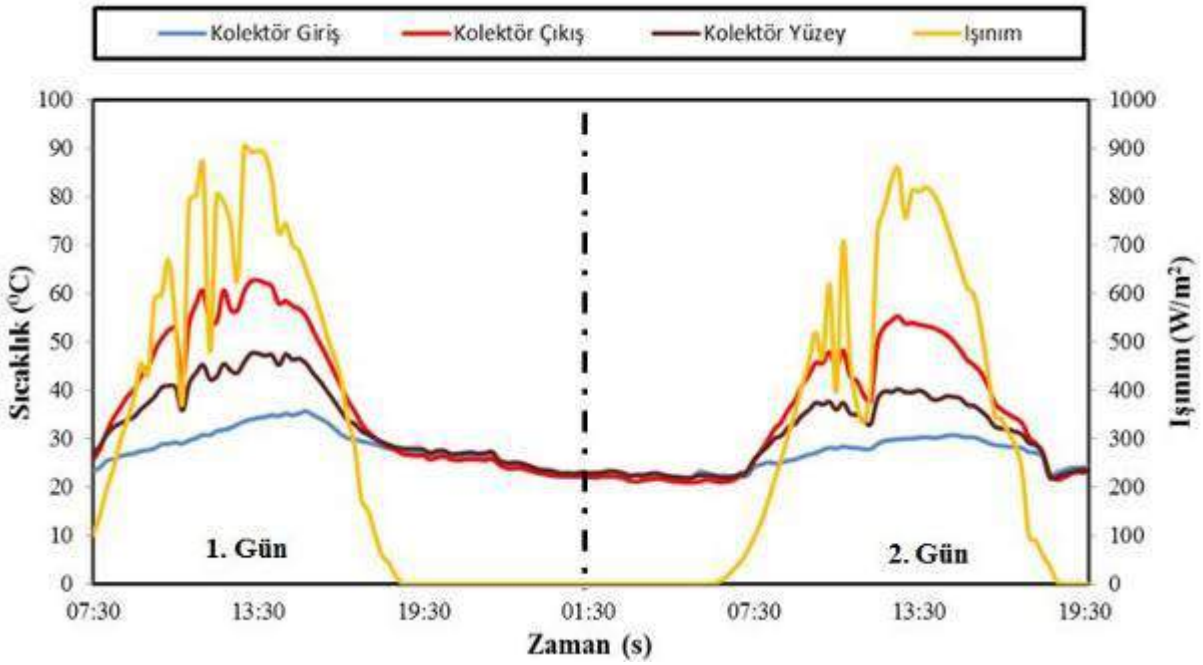
Havalı güneş kolektörün ısıl verimi ($\eta_c$) Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır.

$$\eta_c = \frac{\dot{m}. C_p. (T_g - T_ç)}{I. A_k} \tag{3}$$

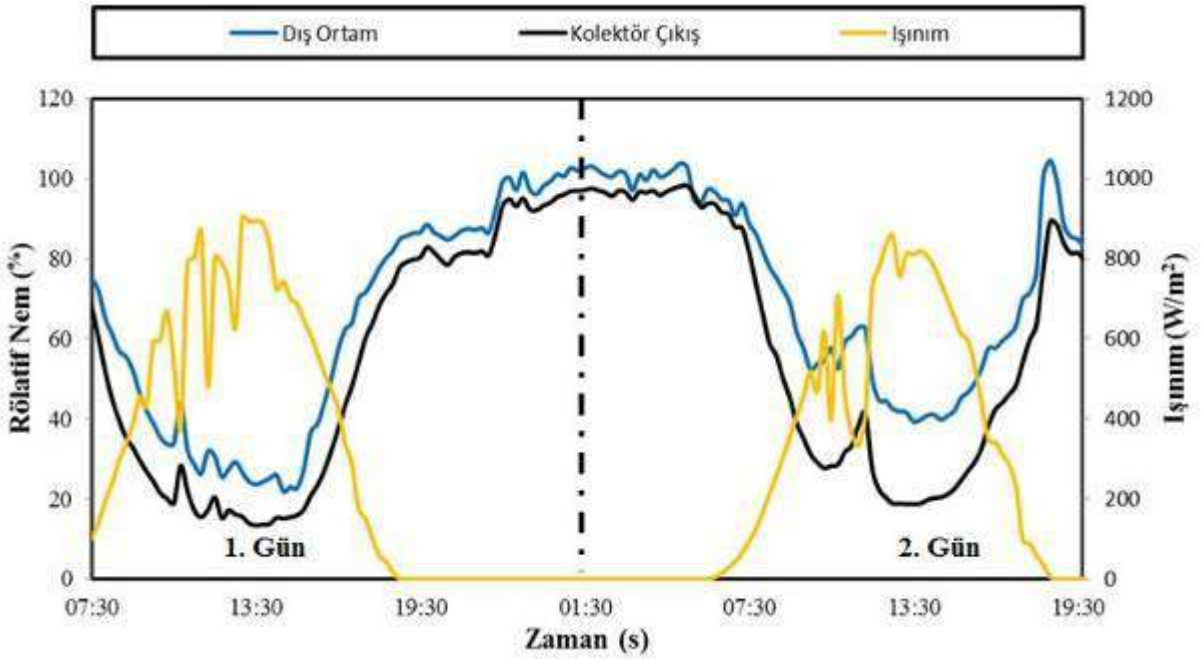
Burada, I kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımı (W/m$^2$), $A_k$ ise güneş ışınımının direkt olarak vurduğu yutucu plaka yüzey alanıdır (m$^2$) [13,14].

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, engelli tip kanatçık modeline sahip bir havalı güneş kolektör imal edilmiş ve deneysel olarak incelenmiştir. Birbirini takip eden iki günde (13 ve 14 Eylül 2019 tarihlerinde) gerçekleştirilen deneylerde, farklı noktalarda ölçülen sıcaklık, ışınım ve nem değerlerinin zamana göre değişimi gözlemlenmiştir. Deneyler sabah 07:30'da başlanmış ve kesintisiz bir şekilde iki gün devam ettirilmiştir. Sistem debisi deney süresince sabit tutulmuş ve kütlesel debi 0,0264 kg/s olarak hesaplanmıştır. Şekil 3'de kolektörün farklı noktalarından ölçülen sıcaklıkların ve ışınımın zamana göre değişimleri verilmiştir. Düşük sıcaklıkta kolektöre giren ortam havası kolektörden ısınarak çıkmaktadır. Sıcaklıkların gün içerisinde ışınımın etkisi ile değiştiği de açık bir şekilde görülmektedir. Kolektör çıkış sıcaklığının deneyler boyunca 25°C ile 60 °C arasında değiştiği ve kolektörün giriş ve çıkış noktaları arasında en fazla 35 °C' lik bir sıcaklık artışı yapılabildiği yine Şekil 2 incelendiğinde görülmektedir. Işınım gece saatlerinde 0 W/m$^2$ ile en düşük öğle saatlerinde ise 945 W/m$^2$ ile en yüksek değerlere ulaşmıştır. Bulutlanmanın etkisi ile ışınımda sürekli bir dalgalanma olduğu yine şekillerden görülmektedir. Şekil 3'den ayrıca kolektör giriş sıcaklığı arttıkça ışınımın da etkisi ile kolektör cam yüzey sıcaklığının da arttığı görülmektedir. Şekil 4'de rölatif nem ve ışınımın zaman ile değişimini gösteren grafik yer almaktadır. Şekilden, deneyler boyunca kolektör giriş (dış hava) ve çıkışındaki havanın rölatif nem değerinin, dış hava sıcaklığı ve ışınıma bağlı olarak değişim gösterdiği ve kolektörde ısınan havanın rölatif neminin düştüğü görülmektedir. Rölatif nem özellikle sabah ve gece saatlerinde yüksek (%95), gün içerisinde ise özellikle öğlen saatlerinde düşük (%15) değerdedir.

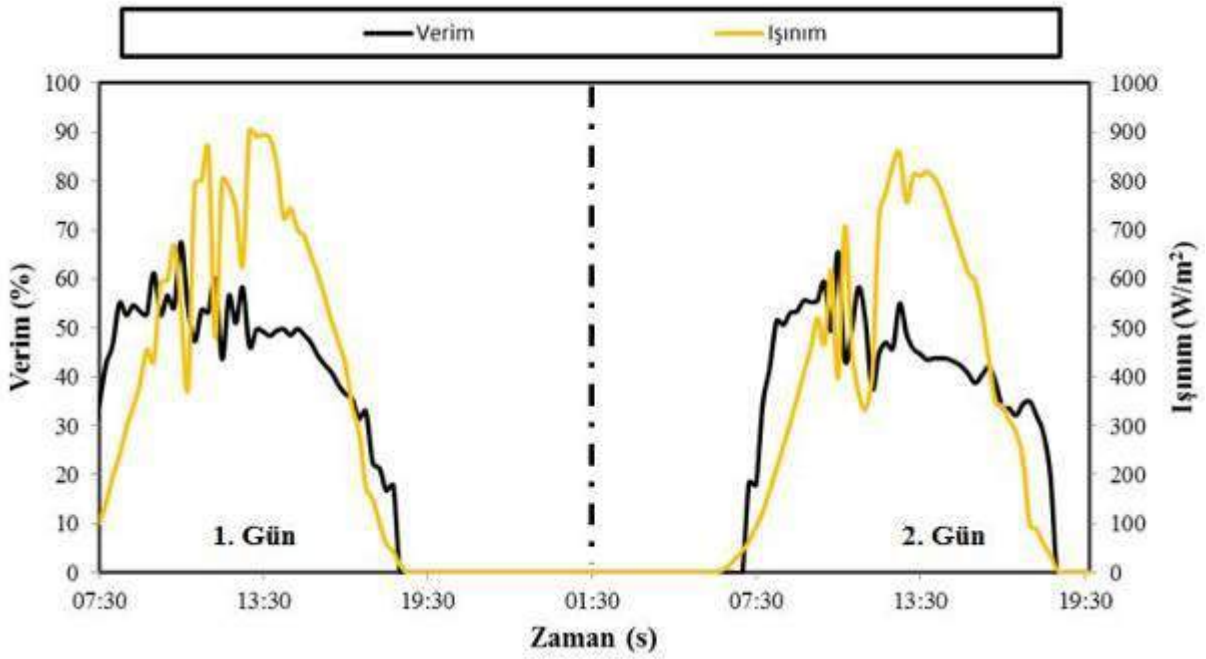



**Şekil 3. Sıcaklık ve Işınımın Zaman Göre Değişimi**




**Şekil 4. Rölatif Nemin ve Işınımın Zamana Göre Değişimi**

Şekil 5'de kolektör veriminin, zamana göre değişimi yer almaktadır. Şekilden bulutlanmanın etkisi ile ışınımdaki dalgalanmanın kolektör verimini de etkilediği görülmektedir. Deneyler boyunca kolektör verimi en yüksek %67 değerine ulaşmış ve iki günlük deney süresince ortalama verim ise %44,6 olarak hesaplanmıştır.




**Şekil 5.** Kolektör Veriminin ve Işınımın Zamana Göre Değişimi

## SONUÇ

Bu çalışmada, engelli tip kanatçık modeline sahip bir havalı güneş kolektörünün imalatı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi atölyelerinde yapılmış ve Osmaniye iklim şartlarına göre farklı noktalarda gerçekleştirilen sıcaklık, nem ve ışınım ölçümleriyle deneysel olarak incelenmiştir. Birbirini takip eden iki günlük deneylerden, kolektör çıkış sıcaklığının deneyler boyunca 25°C ile 60 °C arasında değiştiği ve kolektörün giriş ve çıkış noktaları arasında hava sıcaklığında 35 °C' lik artış gerçekleşebileceği görülmüştür. Elde edilen sonuçlardan ayrıca kolektör veriminin dış ortam şartlarına özellikle de ışınıma bağlı olarak değişim gösterdiği, en yüksek %67 değerine ulaştığı ve iki günlük deney süresince ortalama verimin yaklaşık %45 olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

[1] Özalp , C., Saydam, D. B., Çerçi, K. N., Hürdoğan, E., & Moran, H. (2019). Evaluation of a sample building with different type building elements in an energetic and environmental perspective. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 115, https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109386.

[2] Ural, T. (2019). Experimental performance assessment of a new flat-plate solar air collector having textile fabric as absorber using energy and exergy analyses. Energy, 188, https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.

[3] Hu, J., Zhang, G. (2019). Performance improvement of solar air collector based on airflow reorganization: A review. Applied Thermal Engineering, 155, 592–611. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.04.021

[4] Hu, j., Liu, K., Guo, M., Zhang, G., Chu, Z., Wang M. (2019). Performance improvement of baffle-type solar air collector based on first chamber narrowing. Renewable Energy, 135, 701-710.

[5] Akpinar, E., K., Koçyiğit, F. (2010) Energy and exergy analysis of a new flat-plate solar air heater having different obstacles on absorber plates. . Applied Energy, 87, 3438–3450. doi:10.1016/j.apenergy.2010.05.017

[6] Daş, M. Akpınar, E., K.. (2018). Farklı Tip Güneş Kollektörlerinin Isıl Verim Değerlerinin Hesapsal Zekâ Yöntemleriyle Tahmin Edilmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 2, 43-48.

[7] Karsli, S. (2007). Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. Renewable Energy, 32,1645–1660. doi:10.1016/j.renene.2006.08.005.

[8] Karsli, S. (2007). Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. Renewable Energy, 32,1645–1660. doi:10.1016/j.renene.2006.08.005..

[9] Fudholi, A., Sopian, K. (2019). A review of solar air flat plate collector for drying application. Renewable and Sustainable Energy Reviews 102, 333–345. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.032

[10] Gürel, A. E., Yıldız, G., Ceylan, İ. (2019). Havalı güneş kolektörlerinin hacim ısıtma uygulamalarında kullanımı. 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 1866-1875.

[11] Ho, C.D., Yeh, H.M., Cheng, T.W., Chen, T.C., Wang , R.C.(2009) The influences of recycle on performance of baffled double-pass flat-plate solar air heaters with internal fins attached. Applied Energy, 86, 1470–1478. doi:10.1016/j.apenergy.2008.12.013.

[12] K., Shukla. A., Sharma. A., Kumar. A., Jain, A. (2016). Thermal energy storage based solar drying systems: A review, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 34, 86–99. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.007

[13] Çerçi, K., Süfer, Ö., Söyler , M., Hürdoğan , E., & Özalp , C. (2018). Thın Layer Dryıng Of Zucchını In Solar Dryer Located In Osmanıye Regıon. Tehnıčkı Glasnık, 79-85. [17] Nimrotham , C., Songrakorp ,.

[14] Oztop. H.F., Bayrak. F., Hepbaslı. A. (2013). Energetic and exergetic aspects of solar air heating (solar collector) systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21, 59–83,. http://dx.doi.org/ 10.1016/j.rser.2012.12.019.

# A COMPARISON OF HEURISTIC SEARCH ALGORITHMS IN AUTOMATIC DETECTION OF SCHIZOPHRENIA

Zülfikar ASLAN*

Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, zulfikaraslan27@gmail.com

Mehmet AKIN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, makin@dicle.edu.tr

**ABSTRACT:** In this study, heuristic search algorithms, which are extensively used in the literature for search and feature selection purposes, are compared in terms of their performance in automatic detection of schizophrenia. Our study considers the most commonly used algorithms, namely, Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimization (PSO), Evolutionary Search and Ant Colony Optimization Search, for the task of feature selection. The utilized data consists of 16-channel EEG recordings of a total of 84 individuals from 39 healthy and 45 schizophrenia patients. Feature extraction is done by using Relative Wavelet Energy (RWE) method. The number of extracted features being high in contrast to low number of samples diminishes the classification performance. Therefore, a feature selection strategy is adopted by using heuristic search algorithms in order to improve the classification performance. The new set of features are then used to feed the Support Vector Machine (SVM) machine learning algorithm to perform a classification and consequently compare performance of heuristic search algorithms. The best performance is observed to be 90,5% by the PSO heuristic search algorithm.

**Key words:** Heuristic Algorithm, EEG, Schizophrenia, Machine Learning

# OTOMATİK ŞİZOFRENİ TESPİTİNDE SEZGİSEL ARAMA ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

**ÖZET:** Bu çalışmada literatürde arama ve özellik seçimi için yaygın olarak kullanılan sezgisel arama algoritmalarının, otomatik olarak şizofreni tespitindeki başarımları karşılaştırılmaktadır. Çalışmamızda, literatürde en yaygın olarak kullanılan Genetik Algoritma, Parçacık Sürü Optimizasyon (PSO), Evrimsel Arama ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu Arama algoritmaları özellik seçimi için kullanılmıştır. 39 sağlıklı ve 45 şizofreni hastasına ait toplam 84 bireye ait 16 kanallı EEG sinyalleri kullanılmıştır. Öncelikle ham EEG sinyalinden, Göreceli Dalgacık Dönüşümü (RWE) kullanılarak özellik çıkarımı yapılmıştır. Elde edilen özellik veri setinin, özellik değerlerinin fazla

olması ve denek sayısının az olması sınıflandırma işleminin başarımını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle başarım oranını arttırmak adına farklı sezgisel arama algoritmaları kullanılarak özellik seçimi yapılmıştır. Elde edilen yeni özellik veri seti Destek Vektör Makinası (SVM) makine öğrenme algoritması ile sınıflandırılarak, kullanılan sezgisel arama algoritmaları için elde edilen başarımlar karşılaştırılmıştır. En iyi başarım oranı PSO sezgisel arama algoritmasıyla 90,5% olarak elde edilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Sezgisel Algoritma, EEG, Şizofreni, Makine Öğrenmesi

## GİRİŞ

Şizofreni hastalığı, dünya genelinin yaklaşık % 0,4-0,6'sını etkileyen önemli bir psikiyatrik hastalıktır. Bu hastalığa sahip bireyler genellikle geç ergenlik veya erken yetişkinlik döneminde klinik olarak dikkat çekmektedir. Amerikan Psikiyatri Birliği (DSMIV) ' nin bu hastalığın tanı kriterleri şunlardır; (American Psychiatric Association 2000), şizofreni hastaları sağlıklı bireylere göre ilişkilerde, düşüncelerde, etkilerde ve algıda ciddi rahatsızlıklar göstermektedir. Şizofreni genellikle olumsuz ve olumlu belirtilerle göstermektedir. Olumlu belirtiler arasında sanrılar, işitsel halüsinasyonlar ve düşünce bozukluğu bulunmaktadır. Olumsuz belirtiler, normal özelliklerin veya yeteneklerin kaybı veya yokluğu, konuşma ve dikkat eksikliğidir. Şizofreni hastaları diğer insanlara göre daha düşük evlilik, iş ve bağımsız yaşam oranlarına sahiptir (Sabeti et al. 2011).

Şizofreni, bazılarında hastalarda, beyin fonksiyonlarında bir rahatsızlığı temsil ettiğinden, belirli beyin bölgelerinin veya sinir devrelerinin etkilediğini varsaymak mantıklıdır. Nöropsikolojik çalışmalar, şizofreni hastalarında kortikal gri maddenin prefrontal ve temporal kortekste azaldığına dair kanıtlar bulmuştur. Örneğin; serebral beyaz cevher elyaf yolu değişimleri, amigdale, hipokampus ve entorinal korteks ve talamus gibi limbik sistem yapılarının hacminin azalması ve bazal ganglion çekirdeklerinin hacminin artması gibi kanıtlar bulmuşlardır. Ayrıca, nöroanatomik çalışmalar, prefrontal ve limbik sistem fonksiyonlarının bozulmasının şizofreni hastalarında gözlenen pozitif ve negatif semptomlara ve bilişsel bozulmalara sebep olduğunu iddia etmektedir. Klinik, nöroanatomik, nöropsikolojik ve nörogörüntüleme gibi yaklaşımlar hastalığın daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmuş olsa da, altta yatan mekanizmalar hakkında daha kesin bir bilgi hala gereklidir (Sadock and Sadock 200AD).

Son zamanlarda, şizofrenik hastalara ait EEG sinyallerinin incelenmesine önem verilmiştir. Bazı araştırmalarda, şizofrenik hastaların ve sağlıklı bireylerin EEG sinyallerine doğrusal olmayan yöntemler uygulanmıştır (Jeong et al. 1998; Koukkou et al. 1993; Röschke, Fell, and Beckmann 1995). Sonuçlar, iki grup arasındaki değişken süreçte farklılıklar göstermiştir. Hornero ve arkadaşları (Hornero et al. 2006) katılımcılardan zaman serileri oluşturmak için rastgele boşluk tuşuna basmalarını istemiştir. Şizofreni hastaları tarafından oluşturulan zaman serilerinin sağlıklı gruptan elde edilen değerlerden daha düşük bir karmaşıklığa sahip olduğunu göstermiştir. Başka bir testte ise, rastgele sayı üretimi için (Rosenberg et al. 1990) katılımcılardan bir

ile on kez bir sayı seçmeleri istenmiştir. Sayıların üretici bir kuraldan yoksun olması, yani mümkün olduğunca rastgele olması gerekiyordu. Şizofreni hastalarının sağlıklı bireylere göre daha fazla tekrarlanma eğiliminde olduğunu göstermişlerdir. (Pressman, Peledu, and Geva 2000) şizofreni hastalarında çalışma hafızası görevi sırasında senkronizasyon değişim yeteneğinin olmadığını göstermişlerdir. Beyin aktivitesinde, özellikle önden ve geçici kanallar (Cherif et al. 2004), şizofreni hastalarının sağlıklı katılımcılarla karşılaştırıldığında, göz fiksasyon işlerinde anormallik gösterdiğini bildirmişlerdir. (Gaser et al. 1999) şizofreni hastalarında yapısal beyin değişikliklerini tasvir etmişlerdir. Ayrıca, (Keil et al. 1998) Şizofreni hastalarında, ritmik parmak salınımları olduğunu göstermiştir

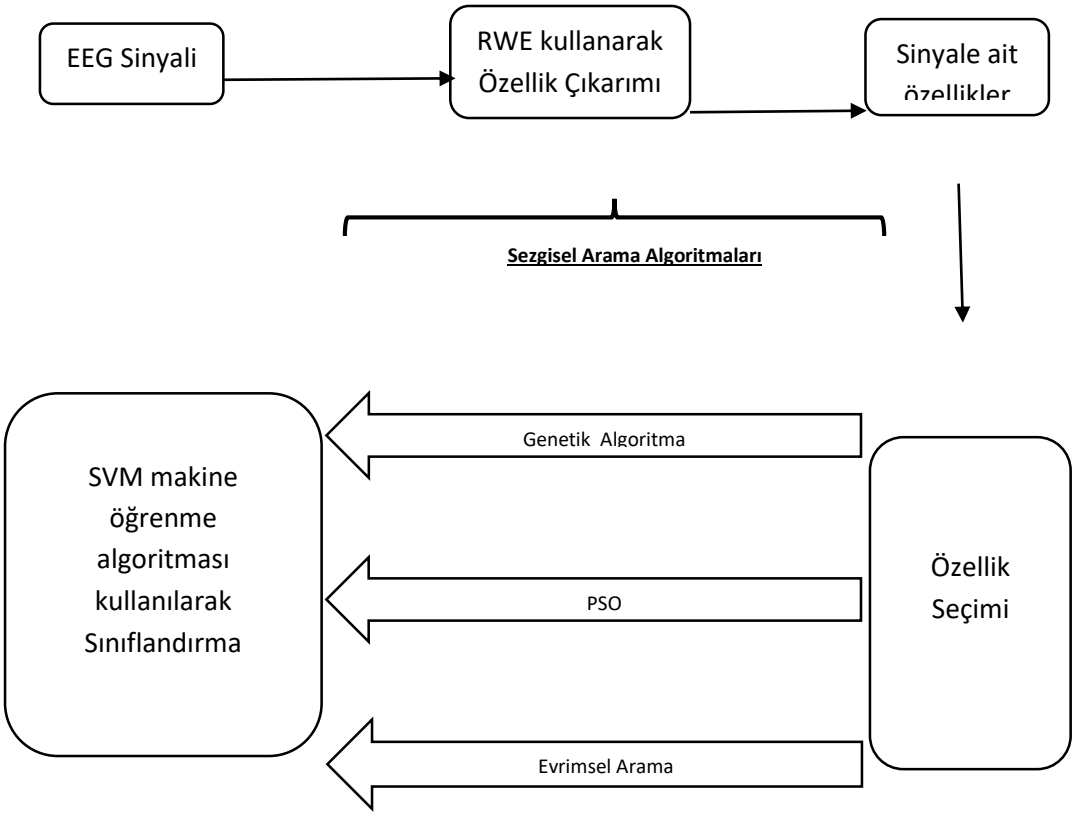
Bu çalışmada 39 sağlıklı ve 45 şizofreni hastaya ait toplam 84 bireye ait 16 kanallı EEG verisi kullanılmıştır. EEG sinyalinden şizofreni hastalığının tespiti için öncelikle ham EEG sinyalinden Göreceli Dalgacık Dönüşümü yöntemi ile özellik çıkarımı yapılmıştır. Ancak elde edilen özellik veri setinin boyutu oldukça fazla olduğundan sonrasında özellik seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Özellik seçimi için literatürde yaygın olarak kullanılan sezgisel arama algoritmalarından Genetik Algoritma, PSO, Evrimsel Arama ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu kullanılmıştır. Veri setindeki birey sayısı az olduğundan bu durum başarım oranını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle makine öğrenme algoritması başarımlarını arttırmak için "Resampling" metodu uygulanmış ve makine öğrenme algoritması başarımını olumlu olarak etkilediği görülmüştür. Veri setindeki örnek (sample) sayısı, dengeli bir şekilde dağılmadığında makine öğrenmesi metotlarının eğitimini zorlaştırmaktadır. Bunun için, veri setini daha dengeli yapmak amacıyla çoğaltma (oversampling) ve azaltma (undersampling) işlemleri uygulanmış, veri seti hastalıklı ve normal bireylerin dağılımını dengeleyecek şekilde resampling işlemine tabi tutulmuştur. Her bir sezgisel arama algoritması sonucu elde edilen yeni özellik veri setleri SVM makine öğrenme algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır. Farklı sezgisel arama algoritmalarıyla elde edilen başarım oranları karşılaştırılmıştır.

## Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan EEG kayıtları, benzer şizofrenik bozukluğa sahip 45 çocuğa ait şizofreni hastalığını ve 39 sağlıklı bireye ait bilgileri içermektedir. Ruh Sağlığı Araştırma Merkezi (MHRC) uzmanları tarafından tüm hastaların şizofreni olduğuna dair tanıları tespit edilmiştir. MHRC muayenesi yapılan bu şizofreni hastaların tamamı kimyasal tedavi görmemiştir. Hastaların en büyüğü de 14 yaşında ve en küçüğü 10 yıl 8 aylıktır. Sağlıklı bireyler ise en büyüğü 13 yaş 9 aylık ve en küçüğü 11 yaş olan 39 sağlıklı öğrenciden oluşmaktadır. Her iki gruptaki çocukların ortalama yaşı 12 yıl 3 aydır (Borisov et al. 2005). Bireyler rahat, gözleri kapalı ve uyanık iken kafalarına bağlı 16 elektrot ile EEG kayıtları alınmıştır. Bir bireye ait tüm kanallardan alınan EEG kaydı 122280 uzunluğunda tek boyutlu bir dizi yapısındadır. Her kanaldan alınan veri 7680 uzunluğunda tek boyutlu bir dizi yapısındadır.

## YÖNTEM

Bu çalışmada 45 şizofreni hastası ve 39 sağlıklı bireylerden oluşan toplam 84 bireye ait 16 kanallı EEG verisi kullanılmıştır. Her bireye ait EEG verisi 122280 uzunluğunda tek boyutlu bir dizidir. Öncelikle ham EEG verisi üzerinden göreceli dalgacık enerji yöntemi kullanılarak özellik çıkarımı işlemi yapılmıştır. Elde edilen yeni özellik veri setinin boyutunun oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir. Özellik sayısının oldukça fazla olmasından dolayı özellik seçimi için Genetik Algoritma, PSO, Evrimsel Arama ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu sezgisel arama algoritmaları kullanılmıştır. Her sezgisel algoritma ile elde edilen özellik veri seti, SVM makine öğrenme algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır. Her sezgisel arama algoritması için elde edilen sınıflandırma başarımları karşılaştırılmıştır. Şekil1 'de yapılan çalışmaya ait işlem süreçleri gösterilmektedir.



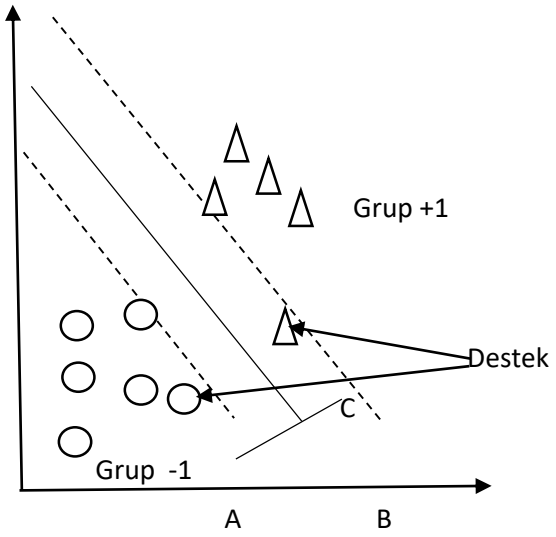
**Şekil 1.** Bu çalışmada uygulanan işlem süreçleri.

**Destek Vektör Makinaları (SVM)**

Destek Vektör Makinaları, İki grup sınıflandırma problemini çözmek için Vapnik ve Cortes tarafından bulunmuştur. SVM, EEG sinyal sınıflandırması, kanser tanımlaması, biyoinformatik, nöbet tahmini, yüz tanıma ve konuşma bozukluğu gibi birçok alanda uygulanmaktadır. Destek Vektörü Makine teknikleri (Byun and Lee 2002), Şekil2' de gösterildiği gibi Doğrusal olarak ayrılabilir, Doğrusal olarak ayrılmaz ve Doğrusal olmayan ayrılabilir olarak üç tipe ayrılmaktadır.

**Şekil 2.** SVM sınıflandırıcı türleri.

SVM, verileri iki grup arasında ayırmak için en büyük kenar boşluğuna sahip optimum hiper düzlemi oluşturmak için kullanılır. İki boyutlu veriler için, tek hiper düzlem, verileri +1 veya -1 gibi iki gruba ayırmak için yeterlidir. Veri noktalarını, üç boyutlu verilere için ayırmak için iki hiper düzlem gerekmektedir. SVM, örnek verileri hedef kategorilere göre ayırmak için hiper düzlem oluşturur. İki boyutlu veriler için, olası birçok lineer ayırıcı (hiper düzlem) vardır ve maksimum marjin genişliğine sahip olan optimum hiper düzlemi bulması gerekir. H1 ve H2 çizgileri, uygun değer hiper düzleme (düz çizgi) paralel olarak çizilir ve hiper düzlem ile veri noktaları arasındaki mesafeyi işaretler. Noktalı çizgiler (AC) arasındaki mesafeye kenar boşluğu denir. Hiper düzlemde H1 ve H2 bulunan örnek veri noktalarının bazıları Destek Vektörleri (SVM' ler) olarak adlandırılır, Şekil3' de gösterilmektedir. Kenar boşluğu genişliğini hesaplamak için bu SVM' ler önemlidir (Bhuvaneswari and Kumar 2013).




**Şekil 3.** Lineer olarak ayrılabilir SVM.

**Genetik Arama Algoritması**

Genetik algoritma (GA), Darwinist evrim ve genetiğe dayanan bir optimizasyon metodolojisidir (Eiben, Smith, and others 2003). Geleneksel gradyan tabanlı optimizasyon teknikleri, çok boyutlu bir optimizasyon yüzeyinde tek bir çözümü yinelemeli bir şekilde rafine ederek optimum bir nokta arar. Öte yandan, GA paralel olarak bir dizi aday çözüm koleksiyonu üzerinde çalışmaktadır. Bu yaklaşımla, GA, ilk optimum tahmin etrafında yerel bir optimumda sıkışıp kalma olasılığı daha yüksek olan, genel olarak uygun olan noktayı geleneksel tekniklerden daha fazla bulma olasılığına sahiptir. GA bir optimizasyon problemlerine olası bir çözümü temsil eden bireyler, bir başlangıç nüfusu ile başlar. Evrim süreci seçim, geçiş ve mutasyona aşamalarından oluşmaktadır. "En güçlü olanın hayatta kalması" ilkesine göre, GA bir dizi yinelemeli hesaplamadan sonra en uygun çözümü elde eder. Çaprazlama ve mutasyon operatörleri nüfusun çeşitliliğini korumaktadır. GA, geniş arama alanını etkin bir şekilde ele alabilir, keşif ve sömürünün birleşimi ile yerel optimal çözümlerden kaçınabilir (Huang and Wang 2006).

**PSO Arama Algoritması**

Parçacık sürüsü optimizasyon konsepti ilk olarak, 1995 yılında, kuşların sürü hareketi veya yiyecek bulmak için balık sürüsü gibi sosyal sistem davranışına dayanarak,

Kennedy ve Eberhart (Eberhart and Kennedy 1995a, 1995b) tarafından tanıtılmıştır. Sürüdeki her bireye parçacık denir. Sürünün i. parçacığı, konumu için $X_i$ ve hızı için $V_i$ vektörleri ile temsil edilir. Parçacık, $P_i$ vektöründe en iyi kişisel performansını, kişisel en iyi (pbest) konumunu ve en iyi parçacığın kümesinde, global en iyi (gbest) konumunu $P_g$ vektöründe kaydettiren bir belleğe sahiptir. Parçacık sürüsü optimizasyon algoritması, her yinelemede, her parçanın hızını en iyi performansı olan $P_i$'ye ve $P_i$ en iyi pozisyonu olan Pg'ye doğru değişimini içerir. Böylece orijinal versiyonda parçacıklar, aşağıdaki formüle göre hareket eder:

$$V_i^{t+1} = V_i^t + c_1 \mathrm{Rand}()(P_i - X_i^t) + c_2 \mathrm{Rand}()\left(P_g - X_i^t\right), X_i^t = X_i^t + V_i^{t+1} \qquad (1)$$

$c_1$ ve $c_2$ parametreleri bilişsel ve sosyal öğrenme oranlarıdır. Bu iki oran, sürünün en iyi performansının hafızasının bireyin hafızasına göreceli etkisini kontrol eder ve her bir öğrenme hızına eşit ağırlık vermek için genellikle aynı değerde seçilir. $c_1$ ve $c_2$ parametrelerine ek olarak, orijinal algoritmanın uygulanması, ayrıca arama alanına ($X_{max}$ ve $X_{min}$) ve hıza ($V_{max}$) sınır koyulmasını gerektirmektedir (Shirvany et al. 2013).

**Evrimsel Arama Algoritması**

Önerilen evrimsel arama algoritması, doğal seleksiyon ve genetik mekaniğine dayanan biyolojik sistemlerin evrimsel davranışını taklit eden genetik algoritma kavramından kaynaklanmaktadır (Goldberg 1989). Temel çalışması, geçit ve mutasyon gibi genetik operatörleri kullanarak yavruları çoğaltmaktır, evrim süreci, popülasyondaki en uygun yavru üretilinceye kadar devam eder (Ng et al. 1994).

**Karınca Kolonisi Optimizasyonu Arama Algoritması**

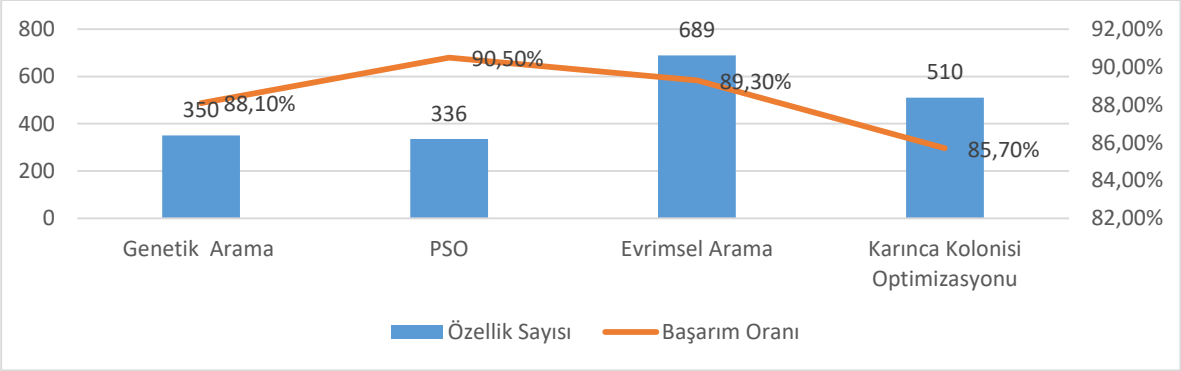
Gerçek karınca kolonilerinde, dolaylı bir iletişim aracı olarak bir koku maddesi olan bir feromon kullanılır. Bir besin kaynağı bulunduğunda, karıncalar yolu işaretlemek için bir miktar feromon bırakır. Dökülen feromonun miktarı, yiyecek kaynağının uzaklığına, miktarına ve kalitesine bağlıdır. Rasgele hareket eden izole edilmiş bir karınca atılan bir feromonu tespit ederken, yolunu izlemeye karar vermesi çok muhtemeldir. Karıncanın kendisi belli miktarda feromon bırakacak ve bu nedenle bu belirli yoldaki feromon izini belirgin hale getirecektir. Buna göre, daha fazla karınca tarafından kullanılan yolun izlenmesi daha cazip olacaktır. Dorigo ve diğ. ark. (Dorigo and Di Caro 1999) bu konsepti benimsemiş ve zor kombinasyonlu optimizasyon problemlerini çözmek için gerçek karınca kolonileri davranışına dayanan yapay bir algoritma önermiştir (Khushaba et al. 2008).

**BULGULAR**

Toplam 84 bireye ait 16 kanallı EEG verisi, 39 sağlıklı ve 45 şizofreni hastasına aittir. Her bir bireye ait EEG verisi 122280 uzunluğunda tek boyutlu bir dizi yapısındadır ve her bir kanaldan alınan veri ise 7680 uzunluğunda tek boyutlu bir dizi yapısındadır. Bu çalışmada öncelikle veri boyutunun yüksek olmasından ve başarım oranını etkileyen önemli bir faktör olmasından dolayı ham veri üzerinden özellik çıkarımı işlemi gerçekleştirilmiştir. Özellik çıkarım işlemi için ham EEG sinyaline Göreceli Dalgacık Enerjisi metodu uygulanmıştır. Elde edilen veri setine özellik seçim işlemi uygulanarak sınıflandırma başarımını olumlu etkileyecek özelliklerin ön plana çıkarılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, sezgisel arama algoritmalarının literatürde en çok kullanılanları tercih edilmiştir. Elde edilen özellik veri setleri SVM makine öğrenme algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır. Kullanılan sezgisel arama algoritmalarının sınıflandırma sonucu elde edilen başarımları karşılaştırılmıştır. Her bir sezgisel arama algoritması ile elde edilen özellik değerleri ve sınıflandırma başarımları Tablo1'de ve Şekil2'de gösterilmektedir. Tablo1' de görüldüğü üzere en iyi başarım PSO sezgisel arama algoritması ile 90,5% olarak elde edilmişti.

| Sezgisel Arama Algoritması | Özellik Sayısı | Başarım Oranı |
|---|---|---|
| Genetik Arama | 350 | 88,1% |
| PSO | 336 | 90,5% |
| Evrimsel Arama | 689 | 89,3% |
| Karınca Kolonisi Optimizasyonu | 510 | 85,7% |

**Tablo 1.** Farklı sezgisel arama algoritmalarıyla özellik seçimi sonucu elde edilen özellik sayıları ve başarım oranları.




**Şekil 4.** Farklı sezgisel arama algoritmalarıyla özellik seçimi sonucu elde edilen özellik sayıları ve başarım oranları.

## SONUÇ

Bu çalışmada şizofreni hastası ve sağlıklı bireylere ait 16 kanallı EEG kayıtları kullanılmıştır. Öncelikle ham EEG verisi üzerinde özellik çıkarımı yapmak için Göreceli Dalgacık Enerjisi yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen özellik veri setinin boyutunun fazla olması makine öğrenme algoritmasının sınıflandırma performansını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle en son elde edilen özellik veri setine özellik seçim işlemi uygulanmıştır. Özellik seçimi için literatürde çok fazla kullanılan sezgisel arama algoritmalarından; Genetik Algoritma, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Evrimsel Arama ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu kullanılmıştır. Her bir sezgisel arama algoritmasıyla elde edilen özellik veri setleri, SVM makine öğrenme algoritması ile sınıflandırılarak başarımları karşılaştırılmıştır. Kullanılan sezgisel arama algoritmalarından en iyi başarım PSO ile 90,5% olarak elde edilmiştir. Bu yaptığımız çalışmada sezgisel arama algoritmalarının EEG sinyalinden, tanı amaçlı olarak kullanılabilecek önemli özellik değerleri elde edebildiği gözlemlenmiştir. Farklı sezgisel arama algoritmalarıyla elde edilen sınıflandırma başarımları analiz edildiğinde, PSO en az sayıda özellik ile en iyi başarım sonucunu vermiştir. Bu çalışmada sezgisel arama algoritmalarıyla özellik seçimi yapıldıktan sonra elde edilen özellik veri setinin hastalığa ait anlamlı bilgiler taşıdığı görülmektedir. İleriki çalışmalarda, şizofreni hastalığının tespiti veya buna benzer alanlarda klinik çalışanlara yardımcı olabilecek sistemlerin bu çalışmadaki metot ve yöntemler dikkate alınarak geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

American Psychiatric Association. 2000. American Journal of Critical Care *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 4th Ed. DSM-IV-TR*.

Bhuvaneswari, P, and J Satheesh Kumar. 2013. "Support Vector Machine Technique for EEG Signals." *International Journal of Computer Applications* 63(13).

Borisov, S. V., A. Ya Kaplan, N. L. Gorbachevskaya, and I. A. Kozlova. 2005. "Analysis of EEG Structural Synchrony in Adolescents with Schizophrenic Disorders." *Human Physiology*.

Byun, Hyeran, and Seong-Whan Lee. 2002. "Applications of Support Vector Machines for Pattern Recognition: A Survey." In *International Workshop on Support Vector Machines*, , 213–36.

Cherif, R., A. Nait-Ali, J.F. Motsch, and M.O. Krebs. 2004. "A Parametric Analysis of Eye Tremor Movement during Ocular Fixation, Applied to Schizophrenia."

Dorigo, Marco, and Gianni Di Caro. 1999. "Ant Colony Optimization: A New Meta-Heuristic." In *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406)*, , 1470–77.

Eberhart, Russell, and James Kennedy. 1995a. "New Optimizer Using Particle Swarm

Theory." In *Proceedings of the International Symposium on Micro Machine and Human Science*,.

———. 1995b. "Particle Swarm Optimization." In *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, , 1942–48.

Eiben, Agoston E, James E Smith, and others. 2003. 53 *Introduction to Evolutionary Computing*. Springer.

Gaser, Christian et al. 1999. "Detecting Structural Changes in Whole Brain Based on Nonlinear Deformations Application to Schizophrenia Research." *NeuroImage*.

Goldberg, David E. 1989. "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison Wesley, Reading, MA." *SUMMARY THE APPLICATIONS OF GA-GENETIC ALGORITHM FOR DEALING WITH SOME OPTIMAL CALCULATIONS IN ECONOMICS*.

Hornero, Roberto et al. 2006. "Variability, Regularity, and Complexity of Time Series Generated by Schizophrenic Patients and Control Subjects." *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*.

Huang, Cheng-Lung, and Chieh-Jen Wang. 2006. "A GA-Based Feature Selection and Parameters Optimizationfor Support Vector Machines." *Expert Systems with applications* 31(2): 231–40.

Jeong, Jaeseung et al. 1998. "Nonlinear Analysis of the EEG of Schizophrenics with Optimal Embedding Dimension." *Medical Engineering and Physics*.

Keil, Andreas, Thomas Elbert, Brigitte Rockstroh, and William J. Ray. 1998. "Dynamical Aspects of Motor and Perceptual Processes in Schizophrenic Patients and Healthy Controls." *Schizophrenia Research*.

Khushaba, Rami N, Ahmed Al-Ani, Akram AlSukker, and Adel Al-Jumaily. 2008. "A Combined Ant Colony and Differential Evolution Feature Selection Algorithm." In *International Conference on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence*, , 1–12.

Koukkou, M. et al. 1993. "Dimensional Complexity of EEG Brain Mechanisms in Untreated Schizophrenia." *Biological Psychiatry*.

Ng, Sin Chun, Chi Yin Chung, S I Leung, and Andrew Luk. 1994. "An Evolutionary Search Algorithm for Adaptive IIR Equalizer." In *Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems-ISCAS'94*, , 53–56.

Pressman, A., A. Peledu, and A. B. Geva. 2000. "Synchronization Analysis of Multi-Channel EEG of Schizophrenic during Working-Memory Tasks." In *21st IEEE Convention of the Electrical and Electronic Engineers in Israel, Proceedings*,.

Röschke, Joachim, Jürgen Fell, and Peter Beckmann. 1995. "Nonlinear Analysis of Sleep EEG Data in Schizophrenia: Calculation of the Principal Lyapunov Exponent." *Psychiatry Research*.

Rosenberg, Stewart et al. 1990. "Random Number Generation by Normal, Alcoholic and Schizophrenic Subjects." *Psychological Medicine*.

Sabeti, M., S. D. Katebi, R. Boostani, and G. W. Price. 2011. "A New Approach for EEG

Signal Classification of Schizophrenic and Control Participants." *Expert Systems with Applications*.

Sadock, Benjamin J., and Virginia A. Sadock. 200AD. Lippincott Williams & Wilkins Publishers *Comprehensive Textbook & Psichiatry*.

Shirvany, Yazdan et al. 2013. "Application of Particle Swarm Optimization in Epileptic Spike EEG Source Localization." *Applied Soft Computing* 13(5): 2515–25.

# EFFECT OF STEEL FIBER ON LOAD CARRYING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE CORBELS

Mehmet Eren GÜLŞAN
Department of Civil Engineering, Gaziantep University
gulsan@gantep.edu.tr

Necip Altay EREN
Department of Civil Engineering, Gaziantep University
altayeren@gantep.edu.tr

Abdulkadir ÇEVİK
Department of Civil Engineering, Gaziantep University
akcevik@gantep.edu.tr

**ABSTRACT:** Corbels are significant structural elements in construction sector and it is critical connection region between beams and columns or walls, especially in industrial buildings. Therefore its mechanical behavior directly influences the safety of the related structure. Use of steel fiber as secondary reinforcement in reinforced concrete corbels is a good option to achieve ductility without any loss in load carrying capacity. This study investigates mechanical behavior of steel fiber reinforced concrete (SFRC) corbels. A detailed research was carried out on SFRC corbels. Experimental works of SFRC corbels were carried out for the study. As a result of experimental work, mechanical outputs of SFRC corbels were interpreted and rules were proposed for the prediction of failure mode and crack pattern of SFRC corbels. Experimental results show how steel fiber affects the load carrying capacity of corbels.

**Keywords:** Steel Fiber Reinforced Concrete, Corbels, Load Carrying Capacity

## INTRODUCTION

Corbels are significant structural elements used in precast construction and especially in industrial building sector. It transfers the load coming from the beam to the column or wall to which it is connected. Since it provides the beam-column connection, its strength, ductility and functionality are more critical as compared to other structural elements. For the experimental part of the study, 24 corbels were prepared. Various parameters were changed to observe the mechanical behavior of related corbels. Those parameters were compressive strength, reinforcement rebar ratio, steel fiber ratio and

shear span to effective depth ratio. Two values were considered for cubic compressive strength of corbels which were nearly 30 MPa and 50 MPa. Two types reinforcement rebars were used in the corbels. These were (2-φ 10) and (2-φ 12). Moreover, two diffrent shear span were selected for tests. These were 100 mm and 130 mm. Steel fiber reinforced concrete (SFRC) is concrete made of hydraulic cement containing fine or fine and coarse aggregate and discontinuous discrete steel fibers and SFRC corbels containing diffrent percentages of steel fibers (0%, 1% and 1.5%) as volumetric. In tension, SFRC fails only after the steel fiber breaks or is pulled out of the cement matrix shows a typical fractured surface of SFRC. Steel fibers intended for reinforcing concrete are defined as short, discrete lengths of steel having an aspect ratio (ratio of length to diameter) from about 20 to 100, with any of several cross-sections, and that are sufficiently small to be randomly dispersed in an unhardened concrete mixture using usual mixing procedures (ACI 544.1R-96 Report, 2002).

The addition of steel fibers provides a number of significant behavioral enhancements to concrete. In compression, steel fibers do not significantly affect the ascending curve of the compressive stress-strain response, but they cause the descending post-peak response curve to decline in a shallower fashion than the curve of plain concrete, resulting in an increased ductility and toughness (Fanella and Naaman, 1985). The peak compressive strength is not significantly affected; experiments have observed a maximum strength gain of only 15% (Fanella and Naaman, 1985; ACI 544.1R-96 Report, 2002; Thomas and Ramaswamy, 2007). However, the peak strain increases perceptibly with the addition of steel fibers. The addition of steel fibers has a much more noticeable effect on the tensile behavior of the composite. In typical fiber volume contents the material exhibits strainsoftening behavior; however, the degradation in load-carrying capacity is slower than that of plain concrete. This results in the composite having greater ductility and energy absorption capabilities than plain concrete. In addition, because the fibers bridge the cracks in the composite and aid in the transfer of forces across the cracks, crack widths are less than those of plain concrete. If reinforcing bars are present, multiple cracks can form, even for a strain-softening material. There will be more cracks at a shorter spacing and smaller widths than the equivalent structure constructed from plain concrete (Deluce, 2011).

## 1.MIX DESIGN FOR SFRC CORBELS:

In the concrete mix design, coarse aggregate (crushed gravel and maximum size is 10mm), fine aggregate (fine sand and size interval is 0-4 mm), cement and water whose weight ratios are 2.78: 1.5: 1: 0.48, respectively were used for the concrete class of 50 MPa. 42.5R Portland cement was used for the production. Hooked end type steel fibers (ZP 305 type of Bekaert-Dramix steel fibers) were used for the preparation of SFRC corbels. Length and diameter of the steel fiber is 30 mm and 0.55 mm, respectively (aspect ratio is 54.5). Since steel fiber reduces the workability of the concrete, superplasticizer was added to mix with an amount of 0.45% of the cement weight. Amounts of ingredients are given for 1 $m^3$ concrete in Table 1.

**Table 1 Ingredient Amounts for the Production of 1 m³ Concrete (*fc u* is 50 MPa)**

| Coarse Agg. (kg) | Fine Agg. (kg) | Cement (kg) | Water (kg) | w/c ratio | Steel fiber (kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1110 | 600 | 400 | 190 | 0.48 | 78,4 (1%)<br>117,6 (1.5%) |

For the production of the other concrete class (*fcu* is 30 MPa), same ingredients and same weight ratios were used except water/cement ratio (w/c) and cement type. 0.55 was selected as w/c ratio and 32.5R Portland cement was used. Related amounts of ingredients are shown in Table 2.

**Table 2 Ingredient Amounts for the Production of 1 m³ Concrete (*fc u* is 30 MPa)**

| Coarse Agg. (kg) | Fine Agg. (kg) | Cement (kg) | Water (kg) | w/c ratio | Steel fiber (kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1110 | 600 | 400 | 220 | 0.55 | 78,4 (1%)<br>117,6 (1.5%) |

## 2.TESTING PROCEDURE:

Corbels were tested with a 500 kN capacity loading frame. Corresponding samples were also tested to measure the compressive strength and tensile strength. Compressive strength and tensile strengths were tested in a 2000 kN capacity concrete press machine. Geometry of experimented corbels, cubic compressive strength results, shear span and steel fiber ratio are shown in table 3.

**Table 3 Designation and Properties of Experimented Corbels**

| **Designation** | **Cubic Compressive Strength (*fcu*) (MPa)** | **Steel Fiber Ratio (*vf*) (%)** | **Diameter of Main Reinforcement (φ ) (mm)** | **Shear Span (*a*) (mm)** |
|---|---|---|---|---|
| 30-0-10-100 | 30 | 0 | 10 | 100 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 30-1-10-100 | 30 | 1 | 10 | 100 |
| 30-1.5-10-100 | 30 | 1.5 | 10 | 100 |
| 30-0-12-100 | 30 | 0 | 12 | 100 |
| 30-1-12-100 | 30 | 1 | 12 | 100 |
| 30-1.5-12-100 | 30 | 1.5 | 12 | 100 |
| 30-0-10-130 | 30 | 0 | 10 | 130 |
| 30-1-10-130 | 30 | 1 | 10 | 130 |
| 30-1.5-10-130 | 30 | 1.5 | 10 | 130 |
| 30-0-12-130 | 30 | 0 | 12 | 130 |
| 30-1-12-130 | 30 | 1 | 12 | 130 |
| (Table 3 Continue) | | | | |
| 30-1.5-12-130 | 30 | 1.5 | 12 | 130 |
| 50-0-10-100 | 50 | 0 | 10 | 100 |
| 50-1-10-100 | 50 | 1 | 10 | 100 |
| 50-1.5-10-100 | 50 | 1.5 | 10 | 100 |
| 50-0-12-100 | 50 | 0 | 12 | 100 |
| 50-1-12-100 | 50 | 1 | 12 | 100 |
| 50-1.5-12-100 | 50 | 1.5 | 12 | 100 |
| 50-0-10-130 | 50 | 0 | 10 | 130 |
| 50-1-10-130 | 50 | 1 | 10 | 130 |
| 50-1.5-10-130 | 50 | 1.5 | 10 | 130 |
| 50-0-12-130 | 50 | 0 | 12 | 130 |
| 50-1-12-130 | 50 | 1 | 12 | 130 |
| 50-1.5-12-130 | 50 | 1.5 | 12 | 130 |

The thickness of corbels is 150 mm. That is, cross sections of both column and corbels are 150mm x 150 mm square section. Load was transferred from the loading frame to the corbel by the 15 mm thickness loading plate. Loading plate was produced from a transmission steel to transfer the load effectively. While one of the roller supports allows to rotation in the transverse direction, the other is not. Corbel loading tests were carried out as displacement controlled mode. Therefore, post-peak behavior of corbels could be observed and load-displacement curve could be obtained. Corbels were loaded monotonically. The loading rate of corbels is 0.3 mm/minute. A typical implemented corbel test is shown in Fig. 1 and Fig. 2.

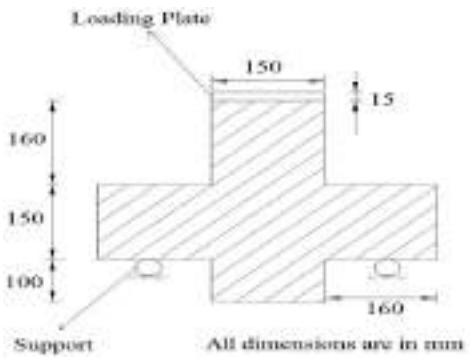



**Figure 1** Dimensions of Experimented Corbels

**Figure 2** Test Configuration and Set-up for Corbels

## 3.RESULTS OF CORBELS TESTS:

### 3.1 LOAD CARRING CAPACITIES:

Results of load carrying capacities of experimented corbels are listed in Table 4. Measurements of tensile strengths (*fct*), cylindrical compressive strengths (*fc*), effective depth (*d*), reinforcement ratio (*As/bh*) and ultimate load carring capacity of corbels are also listed in the same table 4.

**Table 4 Measured Outputs of Experimented Corbels**

| **Designation** | **Cubic Compressive Strength (*fcu*) (MPa)** | **Splitting Tensile Strength (*ft*) (MPa)** | **Effective Depth (*d*) (mm)** | **Reinforcement Ratio ( ρ %)** | **Ultimate Load Per Corbel (kN)** |
|---|---|---|---|---|---|
| 30-0-10-100 | 24 | 1.9 | 124 | 0.851 | 57.22 |
| 30-1-10-100 | 22.3 | 2.5 | 124 | 0.851 | 71 |
| (Table 4 Continue) | | | | | |
| 30-1.5-10-100 | 25.5 | 3.1 | 122 | 0.851 | 79.67 |
| 30-0-12-100 | 25 | 2.0 | 124 | 1.216 | 63.53 |
| 30-1-12-100 | 22.3 | 2.3 | 124 | 1.216 | 73.4 |
| 30-1.5-12-100 | 25.5 | 3.1 | 127 | 1.216 | 87.01 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 30-0-10-130 | 24 | 1.9 | 123 | 0.851 | 37.57 |
| 30-1-10-130 | 22.3 | 2.5 | 124 | 0.851 | 52.6 |
| 30-1.5-10-130 | 25.5 | 3.1 | 123 | 0.851 | 58.35 |
| 30-0-12-130 | 25 | 2.0 | 125 | 1.216 | 48.65 |
| 30-1-12-130 | 22.3 | 2.3 | 127 | 1.216 | 56.15 |
| 30-1.5-12-130 | 25.5 | 3.1 | 124 | 1.216 | 59.79 |
| 50-0-10-100 | 39 | 2.8 | 122 | 0.851 | 65.91 |
| 50-1-10-100 | 40 | 3.7 | 120 | 0.851 | 110.58 |
| 50-1.5-10-100 | 42.5 | 4.5 | 123 | 0.851 | 125.13 |
| 50-0-12-100 | 38.5 | 2.8 | 124 | 1.216 | 68.06 |
| 50-1-12-100 | 38 | 3.6 | 122 | 1.216 | 121.78 |
| 50-1.5-12-100 | 42.5 | 4.2 | 124 | 1.216 | 127.54 |
| 50-0-10-130 | 39 | 2.8 | 123 | 0.851 | 55.52 |
| 50-1-10-130 | 40 | 3.7 | 124 | 0.851 | 78.8 |
| 50-1.5-10-130 | 42.5 | 4.5 | 125 | 0.851 | 86.59 |
| 50-0-12-130 | 38.5 | 2.8 | 128 | 1.216 | 57.65 |
| 50-1-12-130 | 38 | 3.6 | 122 | 1.216 | 89.18 |
| 50-1.5-12-130 | 42.5 | 4.2 | 125 | 1.216 | 89.13 |

### 3.2 INTERPRETATION OF EXPERIMENTAL RESULTS:

As a result of experiments, the following conclusions can be drawn:

#### 3.2.1 EFFECT OF STEEL FIBER ON LOAD CARRING CAPACITY OF CORBELS:

Load carrying capacities of SFRC corbels increase with the increment in the compressive strength of the concrete (Figs. 3-10). This increment is also indirectly related with increment of tensile strength with the compressive strength. However, it is also important to note that the rate of increment is increased when the steel fiber percentage increases since the rate of increment of tensile strength becomes higher as the fiber percentage increases for the same compressive strength. As a result, compressive strength of concrete is effective on the load carrying capacity of corbels. However, its effect is also connected with tensile strength of the concrete.

Effect of steel fiber percentage (*vf* %) is directly related with splitting tensile strength of concrete. Whenever the steel fiber percentage increases the tensile strength of the concrete, the increment in the load carrying capacity of corbels can be observed clearly (Figs. 3-10). The increment in the capacity is pronounced more as compared to the sample without steel fiber to the same sample with steel fiber. However, a general conclusion can be made that the load carrying capacity of a corbel is increased with steel fiber percentage increment. The increase in the load carrying capacity of SFRC corbels becomes smaller as the steel fiber percentage increases (Figs. 3-10). This situation can be explained with the sudden increment in the tensile strength when the steel fiber is added to plain concrete.

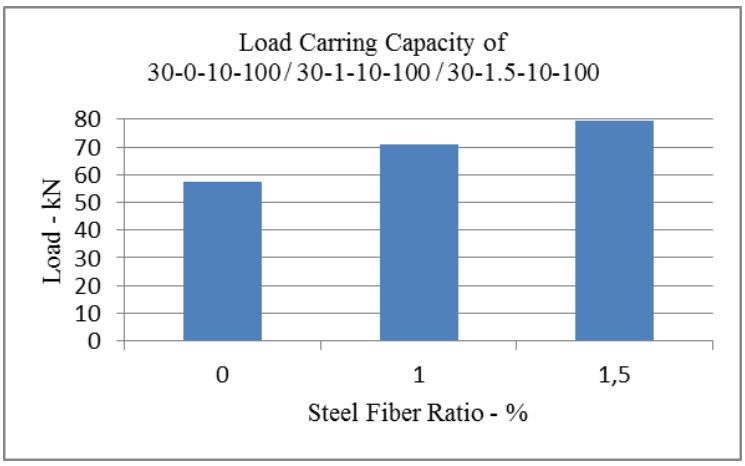



**Figure 3 Load Carrying Capacities of Experimented Corbels**
*(Compressive Strength=30MPa, Rebar =2-φ10, Shear Span=100mm)*

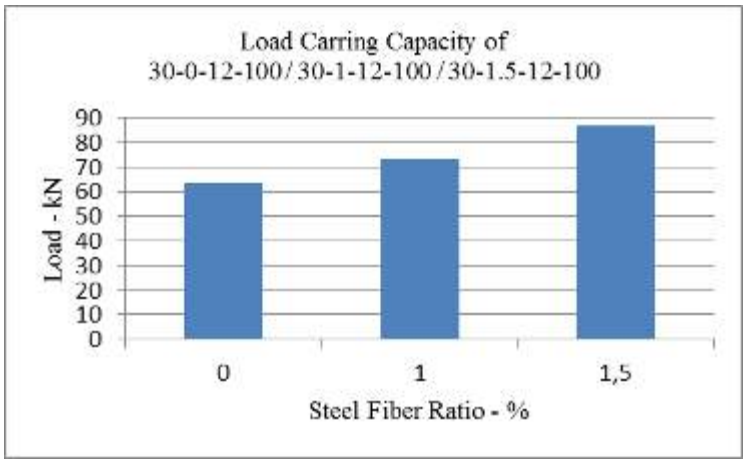



**Figure 4 Load Carrying Capacities of Experimented Corbels**
*(Compressive Strength=30MPa, Rebar=2-φ12, Shear Span=100mm)*

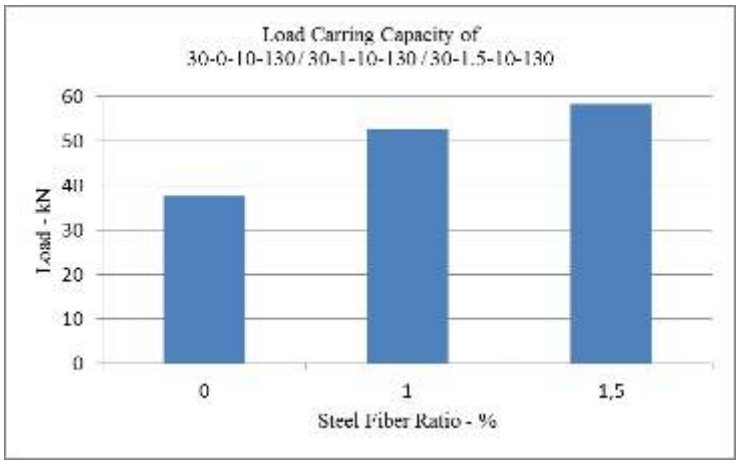



**Figure 5 Load Carrying Capacities of Experimented Corbels**

*(Compressive Strength=30MPa, Rebar=2-φ10, Shear Span=130mm)*

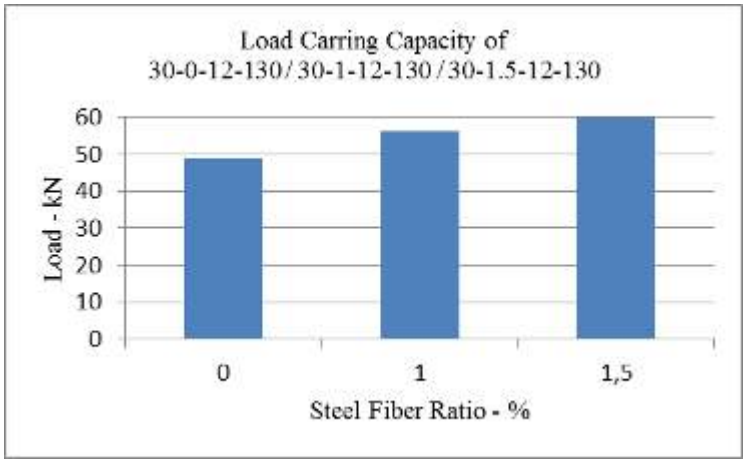



**Figure 6 Load Carrying Capacities of Experimented Corbels**

*(Compressive Strength=30MPa, Rebar =2-φ12, Shear Span=130mm)*

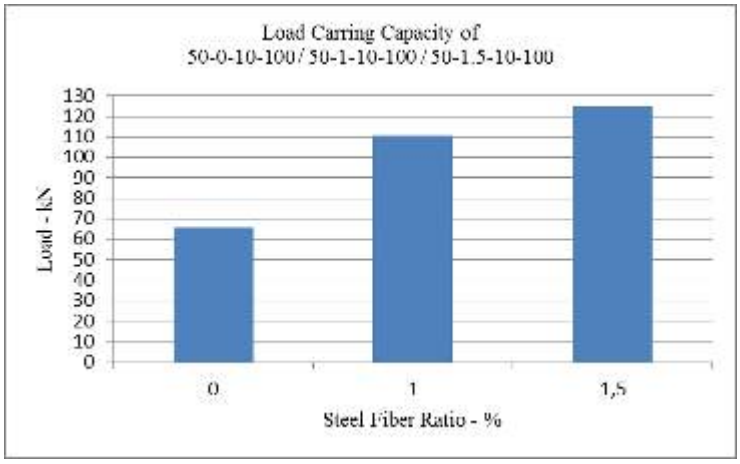



**Figure 7 Load Carrying Capacities of Experimented Corbels**

*(Compressive Strength=50MPa, Rebar=2-φ10, Shear Span=100mm)*

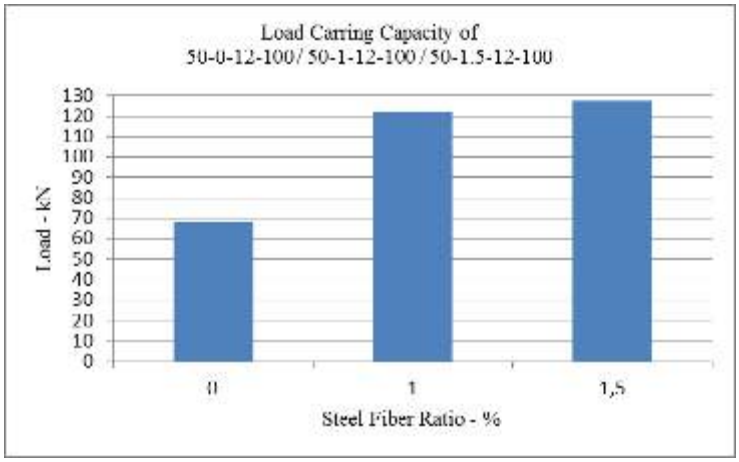



**Figure 8 Load Carrying Capacities of Experimented Corbels**

*(Compressive Strength=50MPa, Rebar =2-φ12, Shear Span=100mm)*

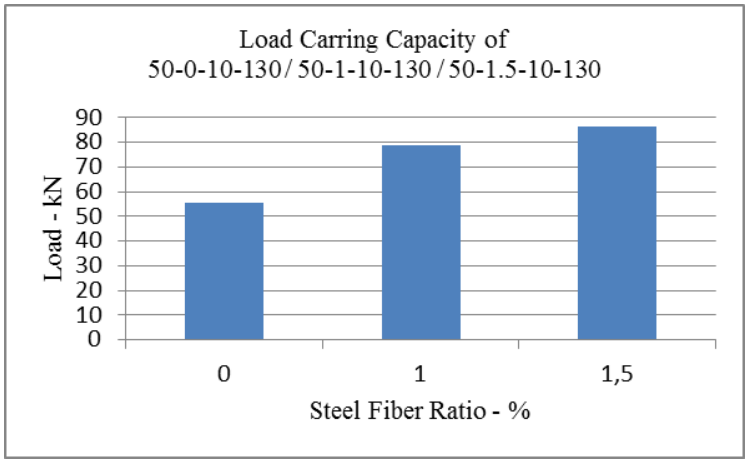



**Figure 9 Load Carrying Capacities of Experimented Corbels**

*(Compressive Strength=50MPa, Rebar=2-φ10, Shear Span=130mm)*

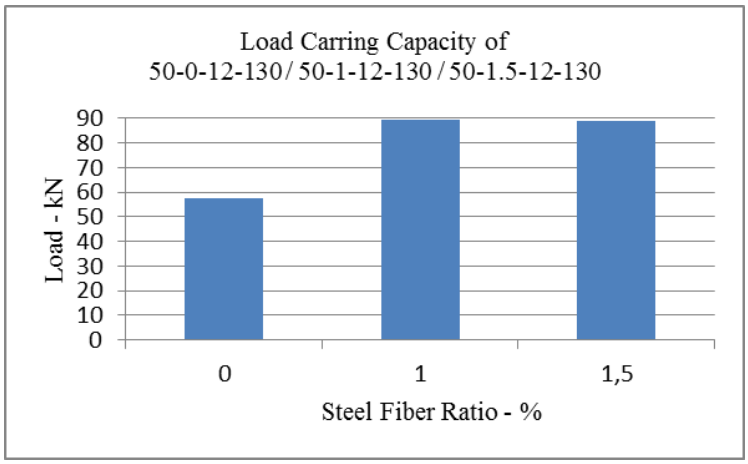



**Figure 10 Load Carrying Capacities of Experimented Corbels**

*(Compressive Strength=50MPa, Rebar=2-φ12, Shear Span=130mm)*

## CONCLUSION

Although corbels are important structural elements and widely used frequently in construction industry little research has been carried so far as compared to other structural members. This study contributes effects of compressive strength on SFRC corbels' load carring capacity. Results of experimental works carried out on the corbels in this study are summarized in the following paragraphs.

Use of steel fibers in reinforced concrete corbels leads to considerable advantages. The most apparent benefits are to satisfy ductile behavior and to increase the load carrying capacity. These outputs prove that steel fibers can be used as secondary reinforcement instead of horizontal stirrups. However, use of steel fibers does not guarantee ductile behavior since this behavior is also dependent on shear span, reinforcement ratio and compressive strength of concrete. Therefore, if a designer designs a SFRC corbel, he or she has to be careful about selection of class of concrete, diameter of main reinforcement and shear span values as well as steel fiber percentage amount.

Another advantage of use of steel fiber in the corbel is about the crack widths. Crack widths of SFRC corbels are much smaller as compared to corbels without steel fiber. Reduction in crack widths leads to longer service life of corbels. Moreover, it facilitates effective and successful repairing operation in the case of a possible rehabilitation process.

In this study, experimental works were carried out for SFRC corbels. Detailed research was implemented on SFRC corbels to clarify all uncertainties on the mechanical behavior and ultimate load carrying capacities. Load capacity of corbels depend on shear span reinforced rebar ratio and steel fiber ratio. Therefore, if a designer designs a SFRC corbel, he or she has to be careful about selection of class of concrete, diameter of main reinforcement and steel fiber ratio. Experimental results carried out on SFRC corbels show that compressive strength is effective parameter on the load carrying capacities of SFRC corbels. Load carrying capacity and failure mode of SFRC corbel can be regulated by altering of this parameter. The following inference was recommended to designers and engineers about mechanical behavior corbels:

- Whenever steel fiber amount increases, the load carrying capacity of SFRC corbels increases. However, the rate of increase decreases as the fiber amount becomes higher and higher.

## REFERENCES

Abdel-Hafez, A. M., Ahmed, M. M., Diab, H., Drar, A. A. M. (2012). Shear Behaviour of high strength fiber reinforced concrete corbels. Journal of Engineering Sciences. 40(4), 969-987.

Abdul-Wahab, H. M. (1989). Strength of reinforced concrete corbels with fibers. ACI Structural Journal. 86(1). 60- 66.

ACI. American Concrete Institute. (1999). Static flexural analysis of beams containing bars and fibers, Design considerations for steel fiber reinforced concrete. ACI Committee 544, Detroit.

ACI. American Concrete Institute. (2002). State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete. ACI 544.1R-96..

ACI. American Concrete Institute. (1999). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-99) and commentary (318R-99), Farmington Hills, Michigan.

ASCE. American Society of Civil Engineers. (1998). Minimum design load for buildings and other structures. ASCE 7-98. Washington, D. C., 352 pp.

Alameer, M. (2004). Effects of fibres and headed bars on the response of concrete corbels. M.Sc. Thesis. McGill University, Montreal, Canada.

Asensio E. C. (2012). On Shear Behavior of Structural Elements Made of Steel Fiber Reinforced Concrete. Ph.D. Thesis. Universitat Politecnica De Valencia.

Bergmeister, K., Novak, D., Pukl, R. and Cervenka, V. (2009). Structural assessment and reliability analysis for existing engineering structures, theoretical background. Structure and Infrastructure Engineering. 5(4), 267-275.

Campione G., Mendola L. L., Papia M. (2005). Flexural behavior of concrete corbels containing steel fibers or wrapped with FRP sheets. Materials and Structures. 38,617-625.

Campione, G. (2009a). Flexural response of FRC corbels. Cement and Concrete Composites. 31(3), 204-210.

Campione, G. (2009b). Performance of steel fibrous reinforced concrete corbels subjected to vertical and horizontal loads. Journal of Structural Engineering. 135(5),519-529.

Cevik, A., Gulsan., M. E. (2013). Modelling ultimate load capacity of steel fibre reinforced concrete corbels: Part1. Formulation. Fibre Concrete, Cezech Republic, Prague.

Ersoy, U., Özcebe, G. and Tankut, T. (2006). Reinforced concrete. Ankara: Middle East Technical University Press.

Fanella, D. A., Naaman, A. E. (1985). Stress-strain properties of fiber reinforced mortar in compression. ACI Journal Proceedings. 82(4), 475-483.

Fattuhi, N. I. (1987). Sfrc corbel tests. ACI Structural Journal. 84(2), 119-123.

Fattuhi, N. I. and Hughes, B. P. (1989b). Ductility of reinforced concrete corbels containing either steel fibers or stirrups. ACI Structural Journal. 86(6), 644-651.

Fattuhi, N. I. (1990a). Column-load effect on reinforced concrete corbels. Journal of Structural Engineering. 116(1), 188-197.

Fattuhi, N. I. (1990b). Strength of SFRC corbels subjected to vertical load. Journal of Structural Engineering. 116(3), 701–718.

Fattuhi, N. I. (1994a). Strength of FRC corbels in flexure. Journal of Structural Engineering. 120(2), 360-377.

Fattuhi, N. I. (1994b). Reinforced corbels with plain and fibrous concretes. ACI Structural Journal. 91(5), 530-536.

Fattuhi, N. I. (1994c). Reinforced corbels made with high strength concrete and various secondary reinforcements. ACI Structural Journal. 91(4), 376-383.

Gulsan., M.E. (2015). Stochastic finite element based reliability analysis of steel fiber reinforced concrete (SFRC) corbels. Ph.D. Thesis. University of Gaziantep, Gaziantep, Turkey.

TSE. Turkish Standart Institute. (2000). Design and construction rules for reinforced concrete structures. TSE 500, Ankara.

Waschbeton. (2013). Precast structures company. http://www.waschbeton.com.

# NUMERICAL INVESTIGATION OF FLOW CHARACTERISTICS OF 90°PIPE BEND FITTING USING NANOFLUID

Nehir TOKGOZ*

Department of Energy Systems Engineering, Osmaniye Korkut Ata University Osmaniye, Turkey

nehirtokgoz@osmaniye.edu.tr

Mehmet Tahir ERDINC

Department of Mechanical Engineering, Osmaniye Korkut Ata University Osmaniye, Turkey mehmettahirerdinc@osmaniye.edu.tr

Onder KASKA

Department of Mechanical Engineering, Osmaniye Korkut Ata University Osmaniye, Turkey onderkaska@osmaniye.edu.tr

Muruvvet AVCI

Department of Energy Systems Engineering, Osmaniye Korkut Ata University Osmaniye, Turkey

muruvvet.oku @gmail.com

**ABSTRACT**: In this study, flow characteristics and pressure drops are investigated numerically by passing nanofluids through the fittings 90° pipe bend commonly used in installations. Aluminum, copper and titanium-based nanoparticles were added homogeneously to water to obtain nanofluids. Five different concentrations of $Al_2O_3$ (%0.3, %0.5, %1, %2, %3). The Reynolds number was determined as Re = 500 and Re = 5000 to examine the structure of the flow through the fittings under both turbulent and laminar conditions. The results obtained by using water were confirmed with the literature results and nano-fluid calculations were started. In order to determine the most accurate numerical model; the laminar model, k- ϵ Standard turbulence model and k- ω Standard turbulence model were used. It was observed that as the concentration increased for all nanofluids, local losses increased due to the increase in viscosity. When different turbulence models are examined, it is seen that the most suitable model for Reynolds number, Re = 500 is the laminar model for T. The most suitable model for the Reynolds number, Re=5000 for elbow fitting is k- ϵ Standard model.

**Key words:** nanofluid, pressure drop, local loss coefficient, turbulence model

**90º DİRSEK TESİSAT BAĞLANTI ELEMANIN AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN NANOAKIŞKAN KULLANARAK SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

**ÖZET:** Sunulan bu çalışmada, tesisatlarda yaygın olarak kullanılan 90°dönümlü dirsek bağlantı parçasının içerisinden nanoakışkan geçirilerek akış karakteristikleri ve basınç düşüşleri sayısal olarak incelenmiştir. Alüminyum esaslı nanoparçacıkların temel akışkan olarak belirlenen suya ilave edilmesiyle homojen bir nanoakışkan elde edildiği kabul edilmiştir. Konsantrasyonun akış yapısı ve basınç kaybı üzerine etkisini incelemek için beş farklı konsantrasyonda $Al_2O_3$ (%0.3, %0.5, %1, %2, %3) nanoakışkanı ele alınmıştır. Bağlantı parçasından geçen akışın yapısını hem türbülanslı hem de laminar şartlar altında incelemek için Reynolds sayısı Re=500 ve Re=5000 olarak belirlenmiştir. Su kullanılarak elde edilen sonuçlar literatür sonuçları ile doğrulanıp, nanoakışkan hesaplamalarına geçilmiştir. En doğru sayısal modeli tespit edebilmek için laminar model, k- ϵ Standard türbülans modeli ve k- ω Standard türbülans modeli kullanılmıştır. Konsantrasyon arttıkça viskozitenin artmasına bağlı olarak yerel kayıpların arttığı görülmüştür. Farklı türbülans modelleri incelendiğinde Reynolds sayısı, Re=500 için laminar model olduğu görülmüştür. Reynolds sayısı, Re=5000 için en uygun modelin k- ϵ Standard modelin en iyi sonucu verdiği ortaya konulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** nanoakışkan, basınç kaybı, yerel kayıp katsayısı, türbülans modeli

## GİRİŞ

Günümüzde ısı transferine yönelik araştırma ve çalışmaların temel amacı; enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasıdır. En iyi enerji mevcut mantığı ile enerji tüketen cihazların verimliliğini arttırmak için geniş kapsamlı çalışmalar devam etmektedir.Isı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar ekonomik açıdan çok önemli bir parametre olan enerjinin, etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışmalar ile ısı değiştiricililerin daha verimli, daha düşük maliyetli, daha hafif ve daha küçük ebatlı tasarlanarak enerjinin daha etkin kullanılması hedeflenmektedir. Isı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar genelde aktif, pasif, karma yöntemler kullanılarak elde edilir. Pasif yöntemler dış güç kullanılmasını gerektirmeyen yöntemlerdir. Genişletilmiş yüzeyler, bobinli borular buna örnek verilebilir. Aktif yöntemlerde bir dış güç kaynağına ihtiyaç duyulur. Yüzey ve akışkan titreşimi, elektrostatik alanlar buna örnek verilebilir. Karma yöntemler ise aktif ve pasif yöntemlerden iki ya da daha fazlası bir arada kullanılır (Bergles,1983). İş yapan akışkanının (temel akışkan) ısı transferi etkinliğini artırmak için içerisine mikro veya nano boyuttaki katı parçacıklar ilave edilerek yeni akışkan elde edilmesi pasif yöntemlerden biridir. Bu yöntemlerin amacı ısı transferini iyileştirmeye yönelik olsa da birçok dezavantajı da beraberinde getirmektedir. Buna santrallerde boru

sistemlerinde yorulmalara, akışkanlarda çökelme ve tortulaşmalara sebep olması örnek gösterilebilir (Şahin,vd., 2006). Bu da performansı düşürüp, ısı değiştiricilerinin boyutlarını ve maliyetini artırdığı için ısı transferine yönelik çalışmalarda yeni arayışların doğmasına sebep olmuştur. Araştırmacılar son yıllarda nanoparçacık boyutunun, konsantrasyonun, viskozitesinin, yoğunluğunun ve ısıl iletkenliğinin ısı transfer mekanizması üzerine etkilerini içeren birçok çalışma yapmışlardır. Bu kapsamda teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaya da devam edilmektedir. Araştırmaların genel sonucu nanoakışkanların ısı transferini artırdığı iddia edilse de deney sonuçları her zaman bunu doğrulamamaktadır. Mohamad vd. yaptıkları çalışmalarda temel akışkana nano parçacık eklenmesinin (akışkanın yoğunluğuna kıyasla) kaldırma kuvveti ve doğal konveksiyonu azaltacağını savunmuştur. Ayrıca nano parçacıkların eklenmesi sonucu etkin viskozite artacağından bununda zorlanmış taşınım ve basınç düşüşünü olumsuz etkileyeceğini ve bu parçacıkların yüzeylere çarpması sonucu erozyonların artabileceği belirtmiştir (Mohamad vd., 2015).

Çalışmaların çoğunda ısı değiştiricileri, bina ısıtması ve otomotiv soğutması gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Günlük hayatta düşünüldüğünde borularda ve boru proje sistemlerinde, bağlantı elemanlarında kullanılan akış da ısı transferi açısından çok önemlidir. Burada oluşan yerel kayıplar ve basınç kayıpları sistemlerin uygun tasarlanması için gerekli bir parametredir. Enerjideki kayıpları içeren en temel etkenler; boru içerisindeki akışın durumu, borunun boyutu, malzemesi gibi fiziksel özellikleri, boru içerisinde akan akışın yön değiştirmesine sebep olan geometrik faktörler sayılabilir. Basınç dağılımlarının ve yerel kayıpların belirlenmesinde bağlantı elemanlarının eğrilik çapları, içerdiği akışın durumu, giriş hızı gibi parametreler çok önemlidir. Akışkan boru içerisinde aktığı zaman, akışkanın akışkanlığı ve türbülans nedeniyle de bazı kayıplar verir. Kayıpların olması verimlilik açısından ve maliyet açısından istenmeyen bir durumdur.

Sunulan bu çalışmada, tesisatlarda yaygın olarak kullanılan 90° dönümlü dirsek bağlantı malzemesinin nanoakışkan kullanılan tesisatlarda kullanılması durumunda oluşturdukları basınç farkları ve buna bağlı olarak meydana getirdikleri yerel kayıp katsayıları sayısal olarak incelenmiştir. Nanoakışkanın ısı transferini arttırmada önemli bir parametre olduğu göz önüne alınarak bağlantı parçaları içerisinden farklı konsantrasyonda nanoakışkan geçirilerek suya göre bağıl yerel kayıp katsayıları hesaplanmıştır. Temel akışkan su seçilerek içerisine $Al_2O_3$ için beş farklı hacim konsantrasyonunda nano parçacık ilave edilmiştir.. Seçilen nanoakışkanın termofiziksel özellikleri daha önce yapılan deneysel çalışmalardan alınmıştır. Bağlantı elemanı Ansys- Fluent programında çizilip, modellenerek çözümlemeleri yapılmıştır. Yerel kayıpların hesaplanmasında laminar model, k- $\epsilon$ Standard model, k- $\omega$ Standard türbülans modeli kullanılmıştır. Hesaplamalar önce su kullanılarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar literatürde yaygın olarak kullanılan Çengel ve arkadaşalrının (Çengel vd., 2008) sonuçlarıyla mukayese edilerek doğrulamıştır. Nanoakışkan kullanılarak elde edilen sonuçlar ise su temel alınarak yorumlanmıştır. Hangi modelin daha uygun olduğu bulunmuştur.

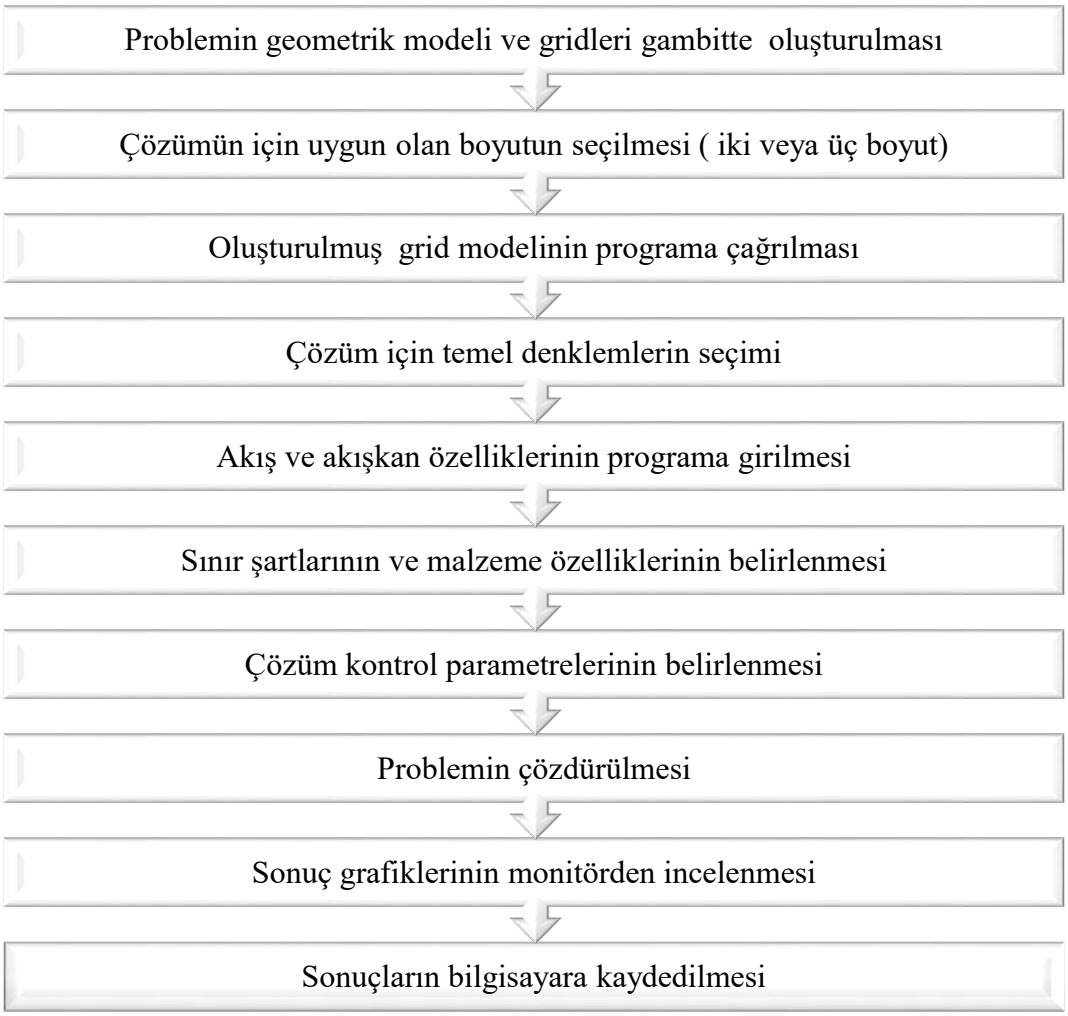
## ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Vajiha vd. bu çalışmalarında kütlece %60 etilen glikol ve %40 su karışımı içinde süspansiyon haline getirilmiş alüminyum oksit nanopartiküllerin özgül ısı ve yoğunluğunun ölçümlerini incelemişlerdir. Amaçları nanoakışkanların akışkanlar dinamiğini ve ısı transfer özelliklerini belirlemektir. Bunu yaparken farklı hacim konsantrasyonları için bir çok farklı sıcaklıkta ölçümler alığ, elde ettikleri deney sonuçlarını da sıcaklık ve partikül hacmi konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak geliştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda elde ettikleri korelâsyonların, endüstriyel ısı eşanjörleri, bina ısıtması ve otomotiv soğutması gibi çeşitli uygulamalarda $Al_2O_3$ nanoakışkanının ısı transfer performansını ve pompalama gücü gereksiniminin incelenmesinde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır (Vajiha vd., 2008). Sridhara ve Satapathy soğutma teknolojisinde verimi artırmak için çalışmalar yapmışlardır. Metalik veya metalik olmayan nanometre boyutlu katı partikülleri, su, yağ, dizel, etilen glikol, vb. gibi ısı transfer akışkanlarına ekleyerek yeni ısı transferi akışkanları elde etmişlerdir. Yeni nanoakışkanları baz sıvılarla karşılaştırmışlar ve önemli ölçüde daha yüksek termal iletkenliğe sahip olduğunu görmüşlerdir. Özellikle $Al_2O_3$ nanopartikül esaslı nano sıvıları incelemişler ve bu nano sıvıların ısıl iletkenliğinin artırılması, viskozitesi gibi konularını ele almışlardır. Termal iletkenlikte artışın %2 ile %36 arasında olduğunu görmüşlerdir (Sridhara ve Satapathy, 2011) . Farsani ve Nodooshan 90° kare kesitli yatay bir tüpte zorlanmış ısı transferini sayısal yöntemlerle incelemişlerdir. Çalışma sıvısı olarak $Al_2O$ nanoakışkanını ele alıp sonlu hacimler yöntemini kullanmışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlara göre, nanoakışkanın hacim konsantrasyonu ve Reynolds saysının artmasıyla dirsek içerisindeki ısı transferinin arttığını görmüşlerdir. Aynı zamanda boru içerisindeki iç bükey yüzey, ısı transferi açısından dış bükey yüzeyden daha büyük bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. (Farsani vd., 2015). Barik vd. 90° dirsek bağlantı parçasından $Al_2O$, $Ti_2O$ ve CuO nanoakışkanlarını geçirip sonlu hacimler yöntemi kullanarak ısı transferini hesaplamışlardır. Reynolds sayısını 2500 ve 6000 arasında değiştirip, k- $\epsilon$ türbülans modelinde çözümlemeler yapmışlardır. Barik ve arkadaşları yaptıkları sayısal çalışmalar sonucunda nanoakışkanların hacim fonksiyonlarının değişiminin ısı transferini önemli ölçüde arttığını görmüşlerdir. Ayrıca ısı transferinin Reynolds sayısı ile de arttığını gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar dirsek bağlantı parçasının dış duvar olarak tanımladıkları bölgede ikincil bir akış olduğunu görüp, buradaki kinetik enerjinin iç duvardan daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca ısı transferiyle beraber hesapladıkları Nusselt sayısının mevcut literatürün bir kısmı ile doğrulamışlardır. Diğer nanoakışkanlara karşı ısı transferindeki en fazla artışın CuO nanoakışkanında olduğunu görmüşlerdir (Barik vd., 2016). Huminic ve arkadaşı sarmal borularda, spiral kıvrımlı borularda ve diğer kavisli borularda temel akışkan ve nanoakışkan kullanılması durumunda gerçekleşen ısı transferi ve akış özelliklerini hakkında yayınlanmış makaleleri derlemişlerdir. Huminic vd. yaptıkları derleme çalışmalarının sonunda ısı transferi açısından en kapsamlı çalışmaların kavisli borularda yapıldığını görmüşlerdir. Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü açısından en kapsamlı çalışmanın ise sarmal borularda olduğunu görmüşlerdir. Nanoakışkanların ısı transfer katsayılarının temel akışkandan daha yüksek olduğunu belirtip kavisli

boruların termohidrodinamik performanslarının nanoakışkan kullanımı ile artırılabileceğini söylemişlerdir. Ayrıca nanoakışkanların sürtünme faktörü ve basınç düşüşünün de çok yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmalar sonucunda ısı transferi ve akış özelliklerini incelemek için özellikle kavisli borularda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir (Huminic vd., 2016). Dutta vd. 90° dirsek bağlantı parçası için yüksek Reynolds sayılarında akışkanın özelliklerini incelemişlerdir. Akışı tek fazlı olarak ele almışlar ve k- ϵ türbülans modelini kullanmışlardır. Akış ayrılma bölgelerini birincil ve ikincil akış ayrılma bölgesi olarak tanımlamışlar ve hız vektörlerinin dağılımlarını göstermişlerdir. Dutta ve arkadaşları araştırmalarından elde ettikleri sonuçlara göre; Reynolds sayısı arttıkça bağlantı parçasının iç ve dış bükümlerinde hız profilinin etkileri artıp azalarak tam gelişmiş şeklini elde ettiğini görmüşlerdir. Reynolds sayısının çok yüksek değerlerinde ise bağlantı parçasının eğriliğinin etkisinin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır (Dutta vd., 2016). Vasa vd. 180° üçgen kesitli bir U bağlantı parçasında $Al_2O$ nanoakışkanın farklı konsantrasyonlarında ısı transfer karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Reynolds aralığını 5000 ile 30000 arasında değiştirip türbülanslı akış durumunu ele almışlardır. Vasa ve arkadaşları elde ettikleri sonuçlara göre hem Reynolds sayısının hem de nanoakışkanın hacim fonksiyonu arttıkça bağlantı parçasının ısı transferinde de önemli bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir (Vasa vd., 2017). Çelen ve arkadaşları 180° kavisli kare kanal içerisinden $Al_2O$ nanoakışkanı geçirip üç boyutlu bir laminar akışın sayısal incelemesini yapmışlardır. Kanal yüksekliği, Dean sayısı, hacim fonksiyonunun akışkanın akış ve ısı transferi üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar elde ettikleri sayısal sonuçlara göre, kavisli kare kanal kullanıldığında ısı transferinin % 59.0 oranında arttığını, bu kanal içerisinden nanoakışkan geçirildiğinde ise yine ısı transfer katsayısının % 30.8 oranında arttığını görmüşlerdir. Ayrıca nanoakışkanların hacim oranı, Dean sayısı ve kanal yüksekliği arttıkça ısı transfer katsayısının ve basınç düşüşünün arttığı sonucuna ulaşmışlardır (Çelen vd., 2017). Das, uzun vadeli kararlı bir nanoakışkan hazırlanmasının, ısı transferi uygulamalarında daha iyi kullanılacağını, sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından da temel gerekliliklerden biri olduğunu düşünmüştür. Termal iletkenliği etkileyen katı hacim fraksiyonu, farklı baz sıvılar, sıcaklık, parçacık boyutu, pH, yüzey aktif maddeler ve nanoakışkan gelişiminde termal iletkenliğin arttırılmasına ilişkin çeşitli mekanizmalar da dahil olmak üzere çeşitli faktörleri tartışmıştır. Ayrıca melez nanoakışkanların sentezi, hazırlama yöntemleri, ısıl iletkenlik ve sorunları da göz önüne almıştır. Efektif parametrelerin termofiziksel özelliklere etkisi hakkında literatürde birçok çelişkili sonuç olduğunu görmüştür. Das yaptığı geniş çaplı çalışmalar sonucunda tüm parametrelerin, herhangi bir nano akışın termofiziksel etkisini önemli derecede etkilediği ve melez nano akışkanın, normal nano akışkandan daha iyi ısıl iletkenlik özelliği sergilediği bulmuştur (Das, 2017).

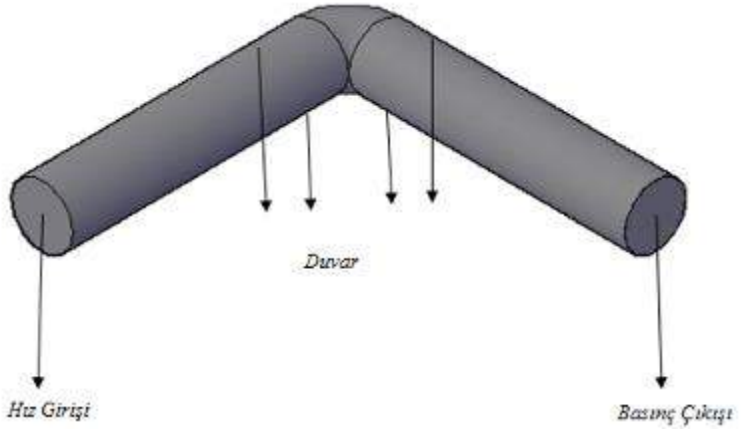
## MATERYAL VE YÖNTEM

Akışı analiz edebilmek için sonlu hacimler metodu kullanarak çözüm yapan Ansys-Fluent paket programı kullanılmıştır. 3 boyutlu olarak çizilen geometri önce Gambit programı aracılığıyla ağlara bölünmüştür. Problemin çözüm aşamaları Şekil 1'de sunulmuştur. Çözüm Reynolds Sayısı, Re=500 ve 5000 için yapılarak hem laminer hem de türbülanslı akış yapısı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Basınç için standart durumu ele alınmıştır. Momentum, enerji için ikinci dereceden upwind diskritizasyonu kabul edilmiştir. Viskoz çözüm modeli için farklı Reynolds sayılarına bağlı olarak laminar model, k- ϵ standard modeli, k- ω standard modeli olmak üzere üç çözüm modeli kullanılmıştır. Hangi modelin uygun olduğu belirlenmiştir. Model çözümlenmesi sırasında başlangıç şartları hız girişine göre alınmıştır. Yakınsama kriteri $10^{-5}$ olarak alınmıştır. Çalışmada kullanılan geometriler çok karmaşık olmadığından ve enerji denklemleri çözümlenmediğinden yakınsama kriteri kabul edilebilir ($10^{-3}$-$10^{-4}$) değerlerin üzerinde seçilerek çözümün hassas olması sağlanmıştır. Çözümde kullanılan türbülans modellerinin denklemlerine ve temel denklemlere Avcı (Avcı, 2019)'nın yapmış olduğu tez çalışmasından ulaşılabilir.




**Şekil 1. Problemin Çözüm Aşaması**

Modellenen parçanın 3D görüntüsü ve sınır şartları Şekil 2'de sunulmuştur. Dirseğin giriş ve çıkış çapı 0,2 m, uzunlukları 5 m olarak alınmıştır. Akışa uniform hız girişi tanımlanmış olup, çıkış etkilerinin ihmal edilebilmesi için çıkış uzunluğu yeterince uzun alınmıştır (25D).




**Şekil 2. 90° Dönümlü Dirsek Bağlantı parçasının Modeli ve Sınır şartları**

Nanoakışkanın Termofiziksel Özellikleri

Çalışmada $Al_2O_3$-su nanoakışkan kullanılmıştır. Nanoakışkanlar suya aynı boyut ve hacimde olduğu varsayılan nanoparçacıkların eklenmesi ve homojen bir karışım elde edilmesiyle oluşturulmuştur. Konsantrasyon açısından beş farklı konsantrasyonda $Al_2O_3$ (%0.3, %0.5, %1, %2, %3), kullanılmıştır. Her bir konsantrasyon için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Kullanılan nanoakışkanların fiziksel özellikleri daha önce literatürde yapılan deneysel çalışmalardan alınarak aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir.

**Çizelge 1. 20 °C'de Alüminyum Oksidin Fiziksel Özellikleri (Özbey vd., 2011)**

| ***Akışkanlar*** | **Fiziksel Özelikler** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Yoğunluk,$\rho$ (kg/m³)** | **Özgül ısı, $C_p$, (j/kg K)** | **Dinamik Viskozite, $\mu$ (kg /ms)** | **Isı İletim Katsayısı,$k$ (W/m K)** |
| *Su* | 998.2 | 4182.0 | 0.001003 | 0.6 |
| *Su+%0.3 $Al_2O_3$* | 1005.80 | 4145.20 | 0.0010862 | 0.608334 |
| *Su+%0.5 $Al_2O_3$* | 1011.87 | 4110.86 | 0.00117021 | 0.619223 |
| *Su+%1.0 $Al_2O_3$* | 1028.20 | 4036.67 | 0.00139827 | 0.644465 |
| *Su +%2.0 $Al_2O_3$* | 1055.48 | 3925.80 | 0.0019319 | 0.685893 |
| *Su+%3.0 $Al_2O_3$* | 1083.60 | 3810.77 | 0.0025689 | 0.728339 |

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde $Al_2O_3$ nanoakışkanın farklı hacim konsantrasyonlarından elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Giriş hızına göre akışın tam gelişmiş olduğu yer tespit edilip iki farklı yüzey atılarak basınçlar hesaplanmıştır. Belirli noktalarda elde edilen basınç farkları ile yerel kayıp katsayısı değerleri hesaplanmış, her bir nanoakışkan konsantrasyonu için detaylı çizelgeler, hız ve basınç dağılımları oluşturulmuştur. Basınç farkları ile hesaplanan yerel kayıp katsayısı literatürde türbülanslı akış için kabul görmüş (Çengel vd., 2008) yerel kayıp katsayıları ile kıyaslanmıştır. Bu katsayı 90° dönümlü dirsek bağlantı parçası için 0.9 dur. Yapılan çözümlemede su için kayıp katsayısı $K_k$=0.923 olarak hesaplanmıştır. Çengel vd. tarafından yapılan çalışmayla mukayese edildiğinde aradaki fark yaklaşık %2.5 mertebesindedir.

Bu çalışmada bağlantı malzemelerinden su yerine nanoakışkan geçirilmesi durumundaki yerel kayıp katsayıları hesaplanmıştır. Yerel kayıp katsayı hesabında kullanılan hız değerleri Reynolds sayısından çekilerek hesaplanmıştır. Çözümlemeler sonucunda hangi modelin referans alınan kaynağa en yakın sonuçlar verdiği tespit edilerek uygun türbülans modeline karar verilmiştir. Aradaki farkın büyüklüğünü ortaya koymak adına kullanılan modellerin hepsi için sonuçlar ayrı ayrı çizelge ve grafikler halinde sunulmuştur. Reynolds=500 için elde edilen sonuçlar çizelge 2'de sunulmuştur.

**Çizelge 2. Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re =500 Laminar Model ($Al_2O_3$)**

| Akışkanlar | Hesaplanan Değerler | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1.Yüzey Basıncı | 2.Yüzey Basıncı | Basınç Farkı (Pa) | $K_k$ |
| Su | 0.01591929 | 0.013034998 | 0.002884294 | 0.917 |
| Su+%0.3 $Al_2O_3$ | 0.01834248 | 0.015000208 | 0.003342276 | 0.925 |
| Su+%0.5 $Al_2O_3$ | 0.02138785 | 0.017512256 | 0.003875595 | 0.930 |
| Su+%1.0 $Al_2O_3$ | 0.02995296 | 0.024529777 | 0.005423183 | 0.946 |
| Su+%2.0 $Al_2O_3$ | 0.05581891 | 0.045707114 | 0.010111798 | 0.970 |
| Su+%3.0 $Al_2O_3$ | 0.09615476 | 0.078735195 | 0.017419569 | 0.996 |

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi konsantrasyon arttıkça yerel kayıp katsayısı da artmaktadır. Dirsek bağlantı parçasında akış, köşeli bir dönüş ile yönünü 90° değiştirmeye zorlamaktadır. Bu durum akışın enerjisini düşürerek basınç kaybıyla sonuçlanmaktadır. Düşük konsantrasyonlardaki kayıpta artış gözle görülür seviyede olmasa da hacim konsantrasyonunun 10 katı değerde artması ile yerel kayıp katsayısı hemen hemen 1 değerine kadar ulaşmıştır. Yerel kayıp katsayısındaki bu artış, viskozite ve yoğunluktaki artış ile doğrudan ilişkilendirilebilir. Reynolds Sayısı=5000 için farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3 ve 4 'de verilmiştir.

**Çizelge 3. Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ Standard Model ($Al_2O_3$ )**

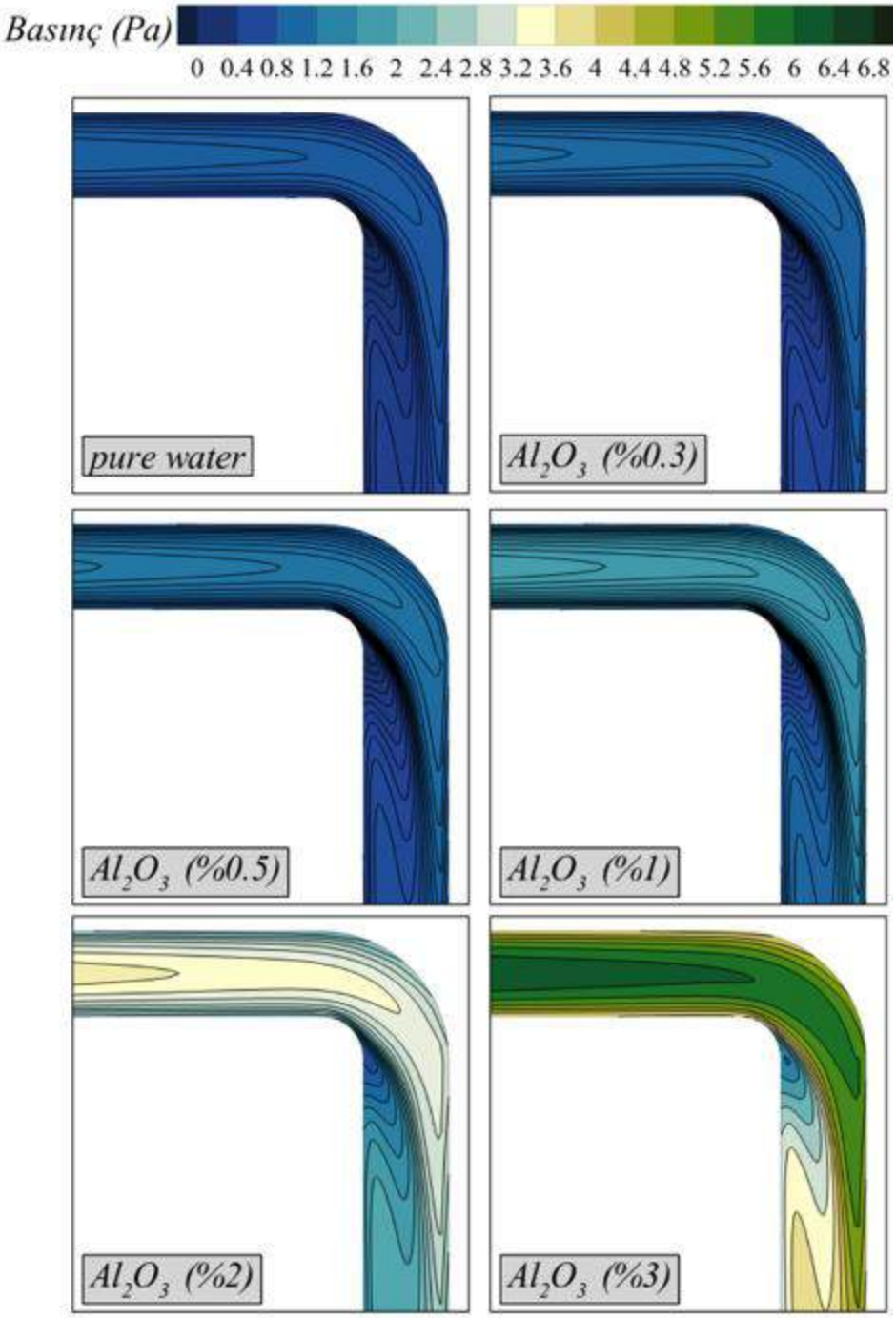
| Akışkanlar | Hesaplanan Değerler | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1.Yüzey Basıncı | 2.Yüzey Basıncı | Basınç Farkı (Pa) | ($K_k$) |
| Su | 0.9926023 | 0.7023890 | 0.2902132 | 0.923 |
| Su+%0.3 $Al_2O_3$ | 1.1547027 | 0.8170479 | 0.3376547 | 0.935 |
| Su+%0.5 $Al_2O_3$ | 1.3326982 | 0.9430386 | 0.3896596 | 0.935 |
| Su+%1.0 $Al_2O_3$ | 1.8609949 | 1.3164114 | 0.5445835 | 0.949 |
| Su+%2.0 $Al_2O_3$ | 3.4815586 | 2.4635568 | 1.0180018 | 0.977 |
| Su+%3.0 $Al_2O_3$ | 5.9953484 | 4.2420979 | 1.7532505 | 1.002 |

Çizelge 3 ve 4 ′de görüldüğü gibi nanoakışkan hacim konsantrasyonundaki artışla birlikte yoğunluk ve viskozitenin artması beklenen bir durumdur. Reynolds sayısı ve bununla doğrudan ilişkili olarak hızdaki artış ile birlikte akışın yönünü köşeli olarak 90° zorlamasından kaynaklanan enerji kayıpları birlikte ele alındığında basınç farkında ve yerel kayıp katsayısı değerinde bir artış görülmüştür. Düşük konsantrasyonlarda gözle görülür bir değer artışı olmasa da yüksek konsantrasyonlarda yerel kayıp katsayısı değerinin 1′i geçtiği görülmektedir. Yerel kayıp katsayı değeri hesaplanırken suyun yoğunluğunun referans değer alındığı göz önünde bulundurmalıdır.

**Çizelge 4. Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω Standard Model ($Al_2O_3$ )**

| Akışkanlar | Hesaplanan Değerler | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1.Yüzey Basıncı | 2.Yüzey Basıncı | Basınç Farkı (Pa) | ($K_k$) |
| Su | 1.1895039 | 0.8473607 | 0.3421431 | 1.088 |
| Su+%0.3 $Al_2O_3$ | 1.3856059 | 0.9870186 | 0.3985872 | 1.104 |
| Su+%0.5 $Al_2O_3$ | 1.5993963 | 1.1394007 | 0.4599956 | 1.103 |
| Su+%1.0 $Al_2O_3$ | 2.2466016 | 1.600466 | 0.6461356 | 1.127 |
| Su+%2.0 $Al_2O_3$ | 4.1772389 | 2.975771 | 1.2014677 | 1.153 |
| Su+%3.0 $Al_2O_3$ | 7.1952977 | 5.125992 | 2.0693054 | 1.183 |

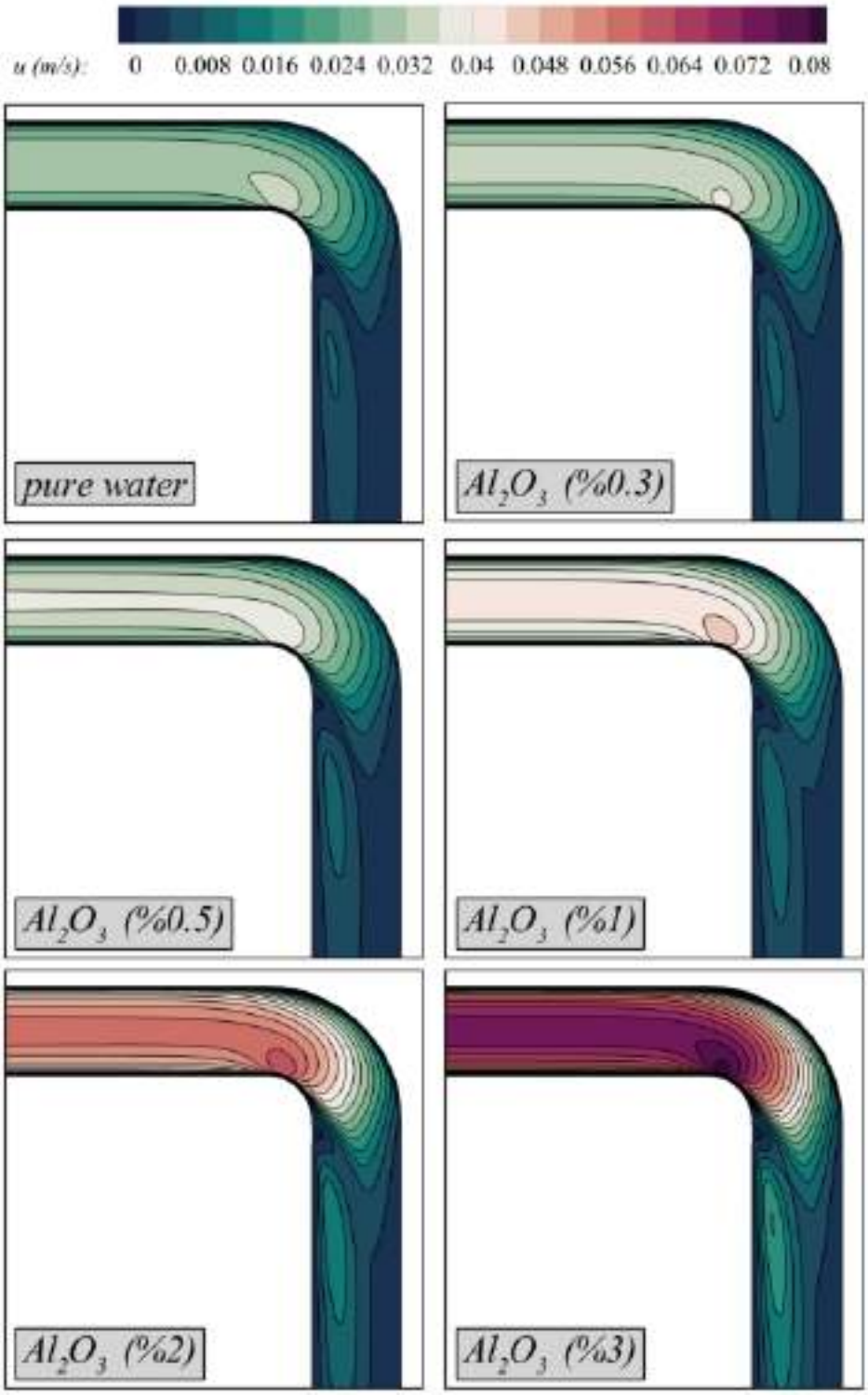
Çizelge 4′de görüldüğü gibi akışın türbülanslı bölgede oluşu, nanoakışkan hacim konsantrasyonuna bağlı olarak hızdaki, yoğunluktaki, viskozitedeki artışlardan ötürü basınç farkında ve yerel kayıp katsayısında ciddi artışlar görülmektedir. Saf su değerinde yerel kayıp katsayısının literatürde olması gereken (Çengel vd., 2008) değerden daha fazla çıkması çözümlemede kullanılan türbülans modelinin k - ω Standard model olması ile ilişkilendirilebilir. Hacim konsantrasyonunun artışı ile yerel kayıp katsayısı değerindeki bu fazla artış çözümlemedeki k - ω Standard model uygun olmadığını göstermektedir. Akış yapısını daha iyi açıklayabilmek için simetri eksenlerine tanımlanan yüzeylerdeki hız ve basınç dağılımları Şekil 3 ve Şekil 4 ′de verilmiştir.




**Şekil 3. Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 için basınç dağılımı ($Al_2O_3$)**

Artan konsantrasyonun basınç dağılımı üzerine etkisi Şekil 3'de verilmiştir. Daha önce verilen çizelgelerde belirtildiği gibi nanoakışkanın konsantrasyonunun artması sonucu basınç dağılımı da değişmektedir. Dirseğin içerisinden geçerken 0.4 Pa mertebesinde olan basınç en yüksek konsantrasyon değeri olan %3'e çıktığında 6.8 Pa mertebesine kadar çıkmıştır. Dağılım olarak bütün şekillerde geometrinin tamamının verilmediği sadece akış için önemli olan yerlerin yakınlaştırılarak sunulduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Akışkanın dirsekten tam dönerken alt bölgesinde kalan

kısmında, iç tarafta akış ayrılmasından kaynaklanan girdaplı akıştan dolayı basıncın diğer bölgelere göre çok fazla düştüğü açıkça görülmektedir.




**Şekil 4. Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 için hız dağılımı ($Al_2O_3$)**

Şekil 4 incelendiğinde dirsek bağlantı parçası için $Al_2O_3$ nanoakışkanında konsantrasyon artışı ile birlikte hız değerlerinin artığından dolayı hız dağılımının

sıklaştığı görülmüştür. Düşük konsantrasyon değerinde 0.008 m/s olan hız değeri konsantrasyon değerinin artışı ile birlikte yaklaşık 10 katı değerine çıkarak 0.08 m/s mertebesine kadar ulaşmıştır. Bu da Reynolds sayısı Re=5000 değerinde akışın türbülanslı bölgede olmasıyla ilişkilendirilebilir. Basınç dağılımında olduğu gibi, akışkanın dirsekten tam dönerken alt bölgesinde kalan kısmında hızın diğer bölgelere göre çok fazla düştüğü açıkça görülmektedir.

## SONUÇ

Bu dirsek tesisat bağlantı parçalarının içerisinden su yerine nanoakışkan geçirilmesi durumunda oluşan basınç kayıp karakteristiği ve yerel kayıp katsayıları sayısal olarak incelenmiştir. Nanoakışkanların konsantrasyonu arttıkça yerel kayıp katsayısı değerinin ve basınç farkının nasıl etkilendiği incelenmiştir. Bağlantı parçalarının içerisinden geçirilen nanoakışkanların enerji verimliliği açısından basınç karakteristikleri ve yerel kayıpları nasıl etkilediği amaçlanmıştır. $Al_2O_3$ nanoakışkan kullanılarak çözülen modelde hacim konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak dinamik viskozitenin artışı ile birlikte basınç farkının da arttığı görülmüştür. Sayısal çözümlemelerde laminar model, k- ϵ Standard türbülans modeli ve k- ω Standard türbülans modeli olmak üzere dört farklı model kullanılmıştır. Düşük Reynolds sayısı olan Re=500 için en uygun laminar model görülmüştür. Reynolds sayısı Re=5000 için k - ϵ Standard modelin uygun sonuçları verdiği doğrulanmıştır. Bunun nedeni k - ϵ Standard modelin yüksek türbülanslarda başarılı sonuçlar veren bir model olmasındandır.

## AÇIKLAMA

Sunulan bu çalışma Mürüvvet AVCI'nın Dr. Nehir TOKGÖZ danışmalığında bitirdiği yüksek lisans tezinin bir parçasıdır.

## KAYNAKLAR

Avcı, M. ., Tesisat Bağlantı Parçalarının Akış Karakteristiklerinin Nanoakışkan Kullanılarak Sayısal Olarak İncelenmesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Tezi, Osmaniye, 2014.

Barik, A., Satapathy P., Sahoo S., CFD study of forced convective heat transfer enhancement in a 90 bend duct of square cross section using nanofluid, Indian Academy of Science, (7), 795-804, 2016.

Bergles, A.E., Augmentation of Heat Transfer. Heat Exchanger Design Handbook. Hemisphere Publishing Co, Washington DC, 1983.

Çelen, F., Evran Ö., Turgut O., Tigli B., Numerical study of flow and heat transfer in a curved square duct with longitudinal triangular rib using $al_2o_3$ /water nanofluid , Athens Journal of Technology and Engineering, Gazi Üniversitesi, 1-21, 2017.

Çengel Y., Cimbala J.M.,Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, İzmir Güven Kitabevi, İzmir, 2008.

Das, K.S., A Review Based on The effect and mechanism of thermal conductivity of normal nanofluids and hybrid nanofluids, Journal of Molecular Liquids, 240 (2017) 420–446, 2017.

Dutta, P., Saha K., Nandi N., Pal N., Numerical study on flow separation in 90° pipe bend under high Reynolds number by k-ε modelling, Engineering Science and Technology, an International Journal 19 (2016), 904–910, 2016.

Farsani, A., Nodooshan A., Numerical investigation of nanofluids flow and heat transfer in 90° elbow with square cross-section, 37 (2), 162-172, 2015.

Huminic G., Huminic A., Heat transfer and flow characteristics of conventional fluids and nanofluids in curved tubes: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58 (2016), 1327–1347, 2016.

Mohamad, A.A., Myth About nano-fluid heat transfer enhancement, International Journal of Heat and Mass Transfer, 86 (2015), 397–403, 2015.

Özbey, M., Namlı, L., Özcan, H., 2011. Nanoakışkanların helisel dönen akımında ısı transferinin sayısal ve deneysel incelenmesi. TÜBİTAK MAG 1001 projesi, 108M119.

Sridhara, V., Satapathy, N.L., Mujumdar, A.S., $AI_2O_3$ -based Nanofluids: a Review, Nanoscale Research Letters, India, 2011.

Şahin, B., Çomaklı, K., Yılmaz, M., Çomaklı, Ö., Nanoakışkanlarla ısı transferinin iyileştirilmesi, Mühendis Makine, 559 (2006), 29-34, 2006.

Vajjiha, R.S., Debendra K.D., Measurements of specific heat and density of $AI_2O_3$nanofluid, AIP Conference Proceedings, 6 (8), 361-370, 2008.

Vasa, A., Barik A., Nayak B., Turbulent convection heat transfer enhancement ın a 180-degree U-bend of triangular cross-section using nanofluid, Materials Science and Engineering, 225 (2017), India , 2017.

# HEAT TRANSFER ANALYSIS IN CYLINDRICAL CORRUGATED CHANNEL WITH CFD METHOD

Nehir TOKGOZ*

Department of Energy Systems Engineering, Osmaniye Korkut Ata University Osmaniye, Turkey, nehirtokgoz@osmaniye.edu.tr

Mehmet Tahir ERDINC

Department of Mechanical Engineering, Osmaniye Korkut Ata University Osmaniye, Turkeymehmettahirerdinc@osmaniye.edu.tr

Onder KASKA

Department of Mechanical Engineering, Osmaniye Korkut Ata University Osmaniye, Turkey onderkaska@osmaniye.edu.tr

Çağrı KUTLU

Department of Architecture and Built Environment, University of Nottingham, NG7 2RD, UK, cagri.kutlu@nottingham.ac.uk

**ABSTRACT**: There have been many studies about heat transfer enhancement method and one of them is corrugated channel. In this work, heat transfer enhancement performance of cylindrical corrugated channel is numerically investigated. Ansys Fluent which uses finite volume method is used to solve continuity, momentum, turbulence and energy equations. For different Reynolds number values,to see heat transfer enhancement regions, field synergy principle is used. As a result of the calculations, it was seen that the cylindrical corrugated channels thin the thermal boundary layer, reduce the angle between the temperature gradientand the velocity vector, ie improve the heat transfer.

**Key words:**Heat transfer, cylindrical corrugated, computational fluid dynamics, field synergy.

# SİLİNDİRİK OLUKLU KANALLARDA ISI TRANSFERİNİN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE İNCELENMESİ

**ÖZET:**Literatürde birçok ısı transferi iyileştirme yöntemleri mevcut olup, bu yöntemlerden biri de kanallarda oluklar oluşturmaktır. Bu çalışma da silindirik oluklu bir kanalda ısı transferi iyileştirme performansı sayısal olarak incelenmiştir. Sonlu hacimler metodu ile çalışan Ansys Fluent programı kullanılarak süreklilik, momentum, türbülans ve enerji denklemleri çözülmüştür. Farklı Reynolds sayıları için silindirik oluklu kanalda ısı transferi iyileştirmesinin gösterimi için alan sinerji prensibi (field synergy principle) dağılımı gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda silindirik oluklu kanalların ısıl sınır tabakayı incelttiği, hız vektörü ile sıcaklık gradyanı arasındaki açıyı azalttığı yani ısı transferinin iyileştirdiği görülmüştür.

**Anahtar sözcükler:** Isı transferi, silindirik oluklu kanal, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, alan sinerji.

## GİRİŞ

Geçmişte yaşanan ve yakın gelecekte yaşanması beklenen enerji krizleri, çoğu ülkeyi enerjiyi daha verimli kullanmak için enerji yönetimi politikaları oluşturmaya zorlamıştır. Bundan dolayı, araştırmacılar enerji sistemlerinin optimizasyonuna odaklanmaya başlamışlardır. Isı değiştiricileri gıda, kimya, metal endüstrisi gibi pek çok endüstriyel uygulamalarda önemli bir role sahiptir. Örneğin, araçlarda, motorun ısı üretmesi için uygun şekilde çıkarılması gerekir. Benzer şekilde, elektronik ekipmanın aşırı ısınmayı önlemek için soğutma amacıyla kullanılan bir sisteme ihtiyacı vardır. Isıtma, iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin yanı sıra, bazı diğer endüstriyel uygulamalar, farklı ısı transfer mekanizmalarını içerir.Isı değiştiricilerinde minimum basınç kaybında maksimum ısı transferi beklenmektedir. Isı ve momentum transferinde iyileştirmeler yapmak ve ayrıca oluklar gibi yüzeylerdeki modifikasyonların ilgili mekanizmalar üzerindeki etkisini anlamak için bilimsel bilgiye ihtiyaç vardır. Bunun için literatürde farklı tip ısı değiştiricileri ve kanallar çalışılmaktadır. Dışardan enerjiye ihtiyaç duyulmadan ısı transferini arttırdıkları için ısı değiştiricilerinde farklı tip oluklu kanallar kullanılmaktadır. Fakat geometri değişikliği akışta çalkantılar meydan getirip ısı transferini iyileştirirken aynı zamanda basınç kaybının artmasına ve bunun neticesinde de pompa gücünün artmasına sebep vermektedir. Oluklu kanallar da çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu kanallarlailgili ve bunların optimum geometrilerini belirlemek için literatürde birçok çalışma bulunmaktadır.

## ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Reynolds sayısının, geometrik parametrelerin ve akışkan özelliklerinin spiral oluklu tüplerin ısıl performansları üzerindeki etkileri sayısal olarak Jinet ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır [1]. Elde edilen sonuçlar, artan oluk derinliği ile hem uzunlamasına girdap uzunluğunun (longitudinal vorticity length) hem de ikincil akış hızının arttığını göstermiştir. Ayrıca, ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısı, perde sayısı arttıkça düşer. Öte yandan, saha büyüdükçe, Nusselt sayısı ve ısı transfer katsayısı azalmaktadır.

Fabbri [2], laminer akış koşulları altında düz ve oluklu duvarlardan oluşan bir kanalda taşınımla ısı transferini araştırmıştır. Optimize edilmiş oluklu profilin ısı transfer hızının Reynolds sayısı ve Prandtl sayısının bir fonksiyonu olarak arttığı bulunmuştur. Wang ve ark. [3] helisel oluklu boruların türbülanslı akış yapıları üzerindeki etkilerini ve farklı oluklarda ısı aktarım ve direnç özelliklerinin oranını bildirmiştir. Elde ettiği sonuçlar, girdap akışının büyüklüğünün, oluk adımlarının azalması ve oluk yüksekliğinin artmasıyla arttığını göstermiştir.

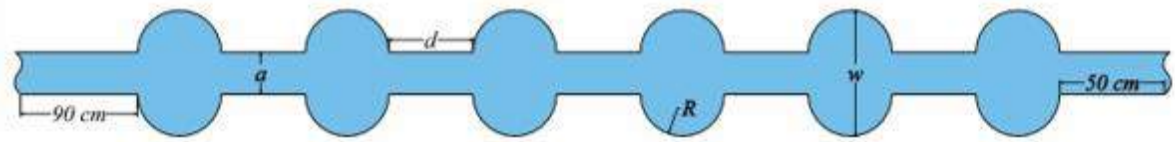
Dikdörtgen kesitli oluklu mikrokanalların akış ve ısı transferi, sayısal olarak Mohammed ve ark. [4] tarafından çalışılmıştır. Oluklu mikro kanalların ısıl verimlerinin aynı kesitler için düz mikro kanallardan daha iyi olduğu belirtilmiştir. Oluklu mikro kanallar boyunca basınç kayıpları, ısı transfer iyileştirmesinden daha düşüktür.

Xiang [5], oluklu bir yüzey boşluğunun faz kayma açısı$\Phi = 0°$olan sinüzoidal kanallar için ısı transferi iyileştirme ve akış karakteristiği üzerindeki etkileri üzerine araştırmalar yapmışlardır. Çalışmalarında, akış özellikleri ve farklı faz açılarının ısı transferi iyileştirme üzerine etkilerini incelemişlerdir.

Oluklu kanallarla ilgili daha detaylı bilgiler [6-10] numaralı referanslardan elde edilebilir. Tokgöz [7] çalışmasında dairesel oluklu kanaldaki akış, Parçacık Hız Görüntü (PIV) tekniği ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak Reynolds sayısının bir fonksiyonu olarak deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmasında olukların momentum transferini arttırdığı görülmüştür. Bu çalışmada bu oluklu kanalların ısı transfer mekanizması incelenmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Akış ve ısı transferi analizleri için gerekli olan denklemler Ansys-Fluent paket programı ile çözülmüştür.Underrelaxation faktörleri basınç denklemleri için 0,3, momentum denklemleri için 0,7 enerji denklemi için 1, gövde kuvveti ve yoğunluğu için ise 1,0 değerleri seçilmiştir. Süreklilik ve momentum denklemlerinin yakınsama değeri $10^{-6}$ ve enerji denkleminin yakınsama değeri ise $10^{-9}$ alınmıştır. Momentum denklemlerinin çözümünde SIMPLEalgoritması kullanılmıştır. Türbülans modeli standart k-ε seçilmiştir. Bunlarla ilgili denklemler Ref. [7]'de verilmiştir. Şekil 1'de HAD yöntemiyle çözümlemesi yapılan kanalın geometrisi verilmiştir.




**Şekil 5. Çözümlemesi Yapılan Dairesel Oluklu Kanal Geometrisi [7]**

Akışın tam gelişmesini sağlamak için oluklu bölüme girmeden önce 90cm, çıkış etkilerinin ihmal edilebilmesi içinde çıkışa 50 cm uzunluğunda oyuksuz bölüm bırakılmıştır. En boy oranı (aspect ration), a/R=1 içinhesaplamalar yapılmıştır.

Hesaplama alanın girişine üniform bir $u_0$ hızı ve $T_0$ sıcaklığı verilmiştir.

Duvardaki sınır şartında kaymama ve sabit duvar sıcaklığı verilmiştir:

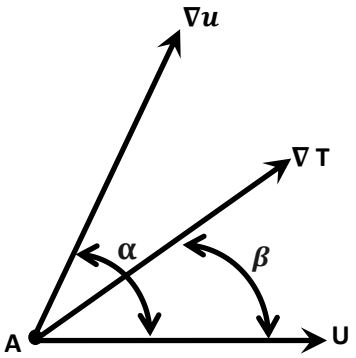
$$u = v = 0 \text{ ve } T = T_w \tag{1}$$

Ortalama hızlar, belirlenen Reynolds Sayısından eşitlik 2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho_f \bar{u} D_h}{\mu_f} \tag{2}$$

Burada hidrolik çap iki plaka arasındaki yüksekliğin, a iki katı alınarak hesaplanmıştır ($D_h$=2a). $\rho_f$akışkanın yoğunluğu, $\mu_f$ de akışkanın dinamik viskozitesidir.

Alan sinerji(koordinasyon) hesaplamalarında ise Guo ve ark. [11]'nın taşınımla ısı transferi için sunmuş olduğu yöntem kullanılmıştır.Hız vektörü ile sıcaklık gradyanı arasındaki açının azalmasıyla ısı transferinde iyileştirme olacağını belirtilmiştir. Konuyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır [12-20]. Şekil 2'de sıcaklık gradyanı ile hız vektörü arasındaki açı(β)ile hız gradyanı ile hız vektörü arasındaki açı( α) ve gösterilmiştir [19].




Şekil 2. Sıcaklık gradyanı ile hız vektörü arasındaki açı(β)ile hız gradyanı ile hız vektörü arasındaki açı( α)'nın kanal içerisinde bir noktada gösterimi [19].

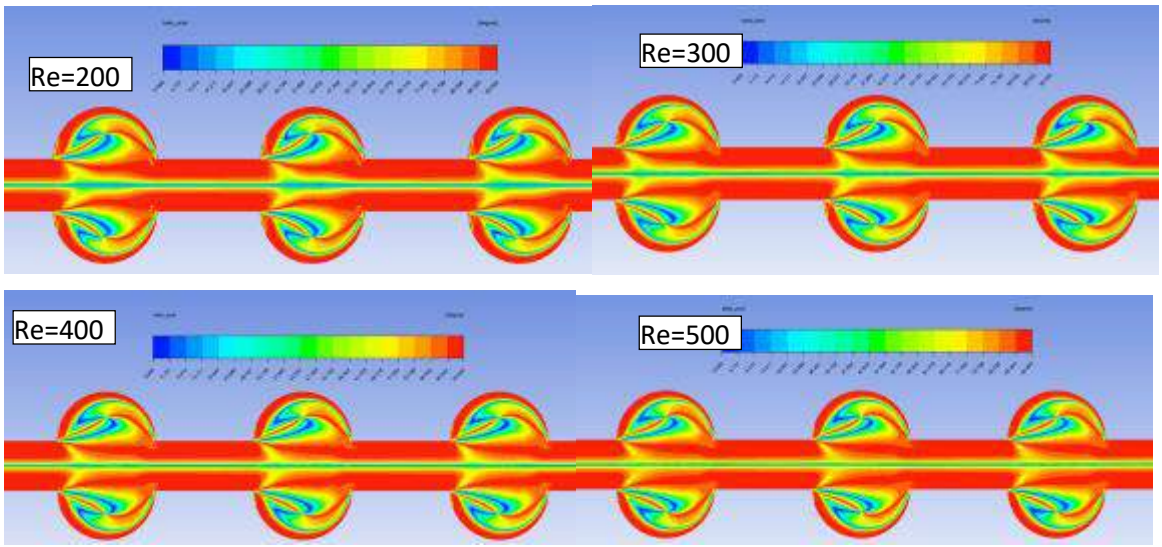
Bu çalışmada sinerji açıları α ve β aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır [16]:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\left|u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z}\right|}{\sqrt{u^2+v^2+w^2}\sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2}}\right) \tag{3}$$

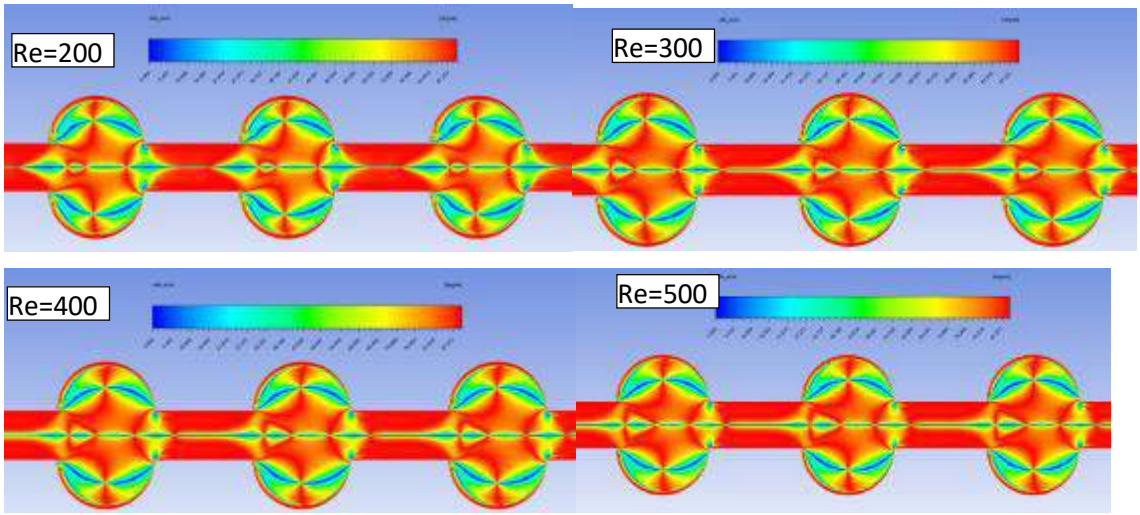
$$\beta = \arccos\left(\frac{\left|u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} + w\frac{\partial T}{\partial z}\right|}{\sqrt{u^2+v^2+w^2}\sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2}}\right) \tag{4}$$

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Isı transferi iyileştirme çalışmaları çoğunlukla, ısı transferi geliştirme mekanizmasını tamamen açıklamayan sürtünme faktörüne ve Nusselt sayısına odaklanmıştır [16]. Şekil 3'te dört farklı Reynolds sayısı için sıcaklık gradyanı ile hız vektörü arasındaki açı β'nın dağılımı gösterilmiştir. Burada açının sıfır olması ısı transferinin çok iyi olduğunu göstermektedir. Olukların hemen başında akış ayrılmalarından dolayı ısı transferi iyileşmekte ancak derinlik (en/boy oranına göre) fazla olduğundan dolayı olukların iç kısımlarında ısı transferi iyi olmamaktadır. Reynolds sayısı arttıkça akışkanın olukların çıkışında β açısı azalmakta yani ısı transferi artmaktadır. Şekil 4'te de dört farklı Reynolds sayısı için hız gradyanı ile hız vektörü arasındaki açı α'nın dağılımı verilmiştir. Bu şekilde açının sıfır olması basınç kaybının çok fazla olduğunu göstermektedir. Burada da oluklar içerisindeki girdaplardan dolayı basınç kaybı artmaktadır. Oluklar içerindeki türbülanstaki yoğunluğun artması, yüksek momentum transfer hızı geliştirildiğinden ısı transferi artmıştır. Boşlukların girişinde, yüksek Reynolds sayılarının etkisiyle, sık sık atma girdapları nedeniyle çekirdek ve uyanık akış bölgeleri arasında daha enerjik bir akış vardır. Boşlukların keskin köşeleri, türbülanslı kinetik enerjinin büyüklüğü yani ısı transferi ve basınç kaybı üzerinde ek bir etkiye sahiptir. Hem ısı transferi hem de basınç kaybı, oluklu kanalda keskin kenarlar nedeniyle düz kanaldan daha yüksektir. Olukların tekrarlanmasından dolayı, girdaplı akış yapılarının büyüklüğü akış yönlerinde kademeli olarak artar ve buna bağlı olarak türbülans yoğunluğu ile birlikte akışkan karışımı ve momentumu da artar ve aynı zamanda ayrılan akış bölgelerinin boyutunu azaltır. İyileştirme çalışmalarında amaç sıcak ve soğuk akışkan arasındaki karışımın artırılmasıdır. Akış karıştırma ve türbülans yoğunluğunu artıran oluklu kanalarda ısıl performansı iyileştirir. Bununla birlikte, mevcut geometrik modifikasyonların ilave kanal boyunca basınç düşüşünü arttıracağı da dikkate alınmalıdır. Oluklu kanalın ekseni üzerindeki akış yönünde hız dağılımının incelenmesi, paralel kanalın plakaları üzerinde daire şeklindeki oluklu malzemenin kullanılmasının, eksen üzerinde bir harmonik hız dağılımı geliştirdiğini ortaya koymaktadır.




Şekil 3. β açısının dört farklı Reynolds sayısı için dağılımı




Şekil 4. α açısının dört farklı Reynolds sayısı için dağılımı

## SONUÇ

Isı transferi uygulamalarının gerekli olduğu endüstriyel uygulamalarda, termal ve hidrodinamik alanlar arasındaki etkileşime bağlı olan doğru tasarım ve optimizasyon çalışmalarını bir arada yürütmek ve bu etkileşimlerin sonuçlarını doğru bir şekilde değerlendirmek kaçınılmazdır. Oluklu kanallar termal enerjiyi aktarmak için kullanılan ve elektronik cihazların soğutulmasında yaygın olarak kullanılan termal cihazlardır. Bu nedenle, ısı transferindeki mekanizmaların incelenmesi bu kanallarda enerji tasarrufu için büyük önem taşımaktadır. Isı değiştirici olarak kullanılan oluklu kanalların akış özelliklerinin ayrıntılı bir analizi, tasarım parametrelerini belirleyerek bu kanalların optimizasyonunu sağlanmalıdır. Bu çalışmada en boy oranı (aspect ratio), a/R=1 olan bir silindirik oluklu kanalda ısı transferi alan sinerji prensibine göre

sayısal olarak incelenmiştir. Oluklar içerindeki akışın karıştırması ve türbülanstaki yoğunluğun artması, yüksek momentum transfer hızı gelişmesini sağlamakta ve ısı transferi ve basınç kaybını artırmaktadır.Olukların iç kısımlarında ısı transferinin iyileştirilmesi gerektiği görülmüş olup, ileriki çalışmalarda en/boy oranının her iki açıya etkisinin incelenmelidir. Ayrıca farklı en/boy oranlarına göre basınç kayıp katsayısı, Nusselt sayısı ve ısıl iyileştirme performansını incelenmelidir.

**KAYNAKLAR**

**[1]** Z.-j. Jin, F.-q. Chen, Z.-x. Gao, X.-f. Gao, J.-y. Qian, Effects of pitch and corrugation depth on heat transfer characteristics in six-start spirally corrugated tube, International Journal of Heat and Mass Transfer, 108 (2017) 1011-1025.

**[2]** G. Fabbri, Heat transfer optimization in corrugated wall channels, International journal of heat and mass transfer, 43 (2000) 4299-4310.

**[3]** W. Wang, Y. Zhang, B. Li, H. Han, X. Gao, Influence of geometrical parameters on turbulent flow and heat transfer characteristics in outward helically corrugated tubes, Energy conversion and management, 136 (2017) 294-306.

**[4]** H. Mohammed, P. Gunnasegaran, N. Shuaib, Numerical simulation of heat transfer enhancement in wavy microchannel heat sink, International Communications in Heat and Mass Transfer, 38 (2011) 63-68.

**[5]** J.-X. Yin, G.-J. Li, Z.-P. Feng, Numerical investigation of effects of plate spacing on flow and heat transfer in sinusoidal channels, Re Kexue yu Jishu(Journal of Thermal Science and Technology)(China), 4(2) (2005) 123-129.

**[6]** S. Eiamsa-ard, P. Promvonge, Numerical study on heat transfer of turbulent channel flow over periodic grooves, International Communications in Heat and Mass Transfer, 35(7) (2008) 844-852.

**[7]** Tokgoz, N. (2019). Experimental and numerical investigation of flow structure in a cylindrical corrugated channel. International Journal of Mechanical Sciences, 157, 787-801.

**[8]** H. Mohammed, A.M. Abed, M. Wahid, The effects of geometrical parameters of a corrugated channel within out-of-phase arrangement, International Communications in Heat and Mass Transfer, 40 (2013) 47-57.

**[9]** Tokgoz, N., Tunay, T., & Sahin, B. (2018). Effect of corrugated channel phase shifts on flow structures and heat transfer rate. Experimental Thermal and Fluid Science, 99, 374-391.

**[10]** Tokgoz, N., & Sahin, B. (2019). Experimental studies of flow characteristics in corrugated ducts. International Communications in Heat and Mass Transfer, 104, 41-50.

**[11]** Guo, Z. Y., Li, D. Y., Wang, B. X., A novel concept for convective heat transfer enhancement, Int. J. Heat Mass Transfer, 1998.

**[12]** He, Y. L., Tao, W. Q., Convective Heat Transfer Enhancement: Mechanisms, Techniques, and Performance Evaluation, Adv. Heat Transf., 46, 2014.

**[13]** Saha, P., Biswas, G., Sarkar, S., International Journal of Heat and Mass Transfer Comparison of winglet-type vortex generators periodically deployed in a plate-fin heat exchanger – A synergy based analysis, Int. J. Heat Mass Transfer, 74, 292–305, 2014.

**[14]** Erdinç, M. T., Yılmaz, T., Cihan, E., Ünal, Ş., Isı transferi problemlerinin Ansys Workbench ile hızlı analizi ve kaydırılmış levhada örnek uygulama, 20. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Balıkesir, 1424–1430, Eylül 2015.

**[15]** Tao, W., He, Y., Field synergy principle and its applications in enhancing the convective heat transfer and improving the performance of pulse tube refrigerator (1), Hsi-An Chiao Tung Ta Hsueh/Journal Xi'an Jiaotong Univ., 2002.

**[16]** Zhai, Y. L., Xia, G. D., Liu, X. F., Li, Y. F., Heat transfer in the microchannels with fan-shaped reentrant cavities and different ribs based on field synergy principle and entropy generation analysis, Int. J. Heat Mass Transfer, 68, 224–233, 2014.

**[17]** Tao, W. Q., Guo, Z. Y., Wang, B. X., Field synergy principle for enhancing convective heat transfer - Its extension and numerical verifications, Int. J. Heat Mass Transfer, 45 (18), 3849–3856, 2002.

**[18]** Guo, Z. Y., Tao, W. Q., Shah, R. K., The field synergy (coordination) principle and its applications in enhancing single phase convective heat transfer, Int. J. Heat Mass Transf., 48 (9), 1797–1807, 2005.

**[19]** Wei, L., Zhichun, L., Tingzhen, M., Zengyuan, G., Physical quantity synergy in laminar flow field and its application in heat transfer enhancement, Int. J. Heat Mass Transf., 52 (19–20), 4669–4672, 2009.

**[20]** Erdinç, M. T., Yeni bir sıvı-sıvı plakalı ısı değiştiricisinin sayısal ve deneysel olarak incelenmesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.

# STARCH CONVERSION IN CORN MALTOSE SYRUP PRODUCTION: DETERMINATION OF OPTIMUM REACTION AND PROCESS CONTROL PARAMETERS

Sema Nur Çinçik, MSc., Gaziantep University, cinciksema@gmail.com

Assist. Prof. Dr. Fatih BALCI, Gaziantep University, fbalci@gantep.edu.tr

Prof. Dr. Mustafa BAYRAM, Gaziantep University, mbayram@gantep.edu.tr

**ABSTRACT**: In the maltose syrup production, one of the critical processing stage is the starch conversion process. During this process, the reaction time and enzyme concentrations are two important parameters to obtain the standard sugar spectrum. The purpose of this study is; i) to find optimum reaction time and enzyme concentrations during the starch conversion process, ii) to determine process control and dynamic parameters during the starch conversion process in the maltose syrup production. The different amounts of beta and alpha-amylase enzymes (0.10, 0.15, 0.20 and 0.25 ml of β-amylase; 0.03, 0.05, 0.07 and 0.09 ml of α-amylase) were used to determine the optimum concentrations and time. pH, Brix and the concentrations of sugars (dextrose, maltose, maltotriose (DP3) and high sugars (DPN)) were determined. It was found that the enzyme concentration, ratios of the enzyme used and reaction time significantly affect the starch conversion process. The mixture containing 0.20 ml β-amylase and 0.05 ml α-amylase was determined as the optimum value ($P \leq 0.05$). It was found that the maximum process gains were obtained at Run 1, 13, 9 and 13 for dextrose, maltose, DP3 and DPN, respectively.

**Key words:** process control; gain value; stach conversion; corn maltose syrup; α-amylase; β-amylase.

# EARTHQUAKE ANALYSIS OF A SCHOOL PROJECT WITH TBDY 2018

Nihat ATMACA, Civil Engineering Department, atmaca@gantep.edu.tr

Adem ATMACA, Energy Systems Engineering Department, aatmaca@gantep.edu.tr

Seydi KILÇIK, Civil Engineering Department, infokilcikoglu@gmail.com

**ABSTRACT**: As a result of developing technology and increasing knowledge levels, updates are made in earthquake regulations (codes). The new building earthquake regulation of Turkey has been published on 18 March 2018. There are especially two methods in this new code: Linear and nonlinear methods. In this study, project of a school that is located in Gaziantep province of Turkey analysed by TDY 2007 regulation on buildings in earthquake zones is compared with the new Turkish earthquake code by using linear calculation methods. SAP 2000 software was used for the calculations and program outcomes were used for comparison. Base shear forces, maximum forces and structure rotation moments findings are calculated. The obtained results show that the new earthquake codes are designed in a safer way.

**Key words:** 2018 Turkish earthquake code, SAP 2000, Base shear forces, 2007 regulation on buildings in earthquake zones

## INTRODUCTION

TDY 2007 earthquake regulation consists of four earthquake zones. N the other hand, earthquake zone areas aren't defined in the new earthquake regulation TBDY 2018. The new regulation focused on the specific site of earthquake risk and ground behaviour. Therefore the related results can be obtained with locational earthquake datas. There are some other revisions in TBDY 2018.

The main purpose of this study is to show the differences between the TDY 2007 and TBDY 2018 earthquake regulation of the Turkey and their structural analysis results. A school project with different structural design configurations analysed for this purpose. The linear calculation method is carried on by equivalent seismic load method according to the TDY 2007 and TBDY 2018 earthquake regulations for frames with shear walls and reinforcement concrete columns models with SAP2000 software.

## HISTORY OF EARTHQUAKE REGULATIONS IN TURKEY

In Turkey, the first earthquake regulations are taken with some revisions from Italy in 1940. This revised regulation was modified as a result of severe earthquakes, changing material and structural techniques and technological developments. In order to fulfil the requirements of the earthquake regulations, the labour of the buildings must also comply with the project. Earthquake performance was found to be incompatible with the regulations or significant design deficiencies at the time of construction of many buildings. For example, when a project designed and constructed in 1987 is examined, it does not comply with the 1975 ABYYHY rules in terms of design. It is seen that the structure was designed according to the rules of 1968 ABYYHY or it contains big deficiencies according to 1975 ABYYHY. (Ellul F et al., 2003)

Earthquake regulations used in turkey are:

- 1940 - Italian Building Instructions for Construction in Earthquake Districts,
- 1944 - Earthquake Districts Provisional Building Instructions,
- 1949 - Turkish Ground Movement Region Building Regulation,
- 1953 - Regulation on Structures to Be Built In Ground Movement Regions,
- 1962- Regulation on structures in disaster zones (ABYYHY),
- 1968 - Regulation on structures in disaster zones (ABYYHY),
- 1975 - Regulation on structures to be built in disaster zones (ABYYHY),
- 1998 - Regulation on structures in disaster zones (ABYYHY),
- 2007 - Regulation on buildings in earthquake zones (DBYBHY),
- 2018 - Turkey building earthquake regulation (TBDY) (Alyamaç and Erdoğan, 2005).

## TDY 2007 AND TBDY 2018 EARTHQUAKE REGULATIONS IN TURKEY

The structural models of the study are designed with linear and non-linear methods according to the TDY 2007 and TBDY 2018 earthquake regulations. Linear earthquake calculation used as equivalent earthquake load method. There are many differences in the parameters used in model designs. Information on these parameters are shown below (Figures 1 and 2).

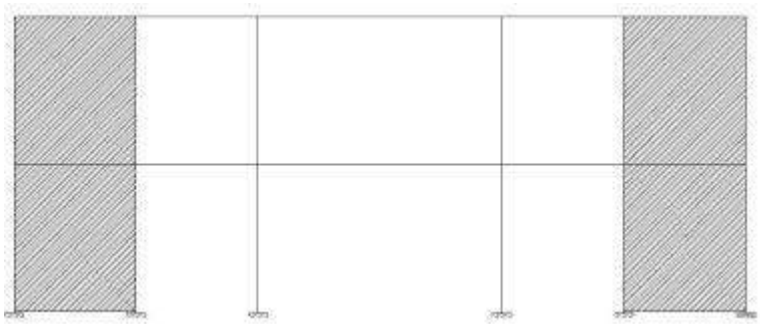


**Figure 1.Frames with Shear Walls and Reinforcement Concrete Columns Side View**

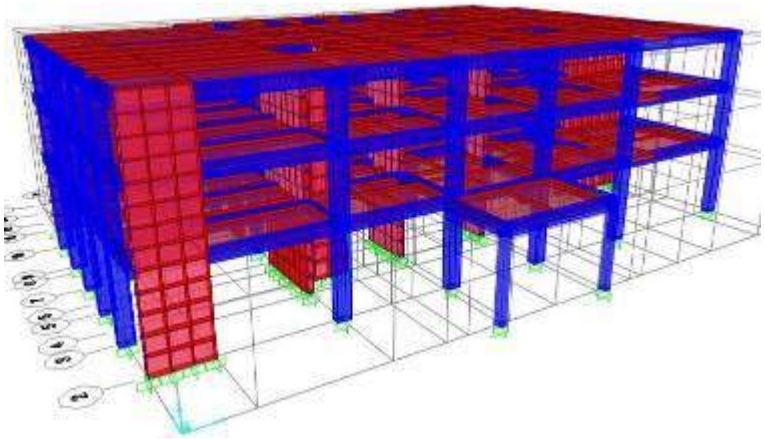


**Figure 2. Frames with Shear Walls and Reinforcement Concrete Columns 3D View**

## GENERAL DIFFERENCES BETWEEN TDY 2007 AND TBDY 2018 EARTQUAKE REGULATIONS IN DESIGN METHODS

There are many differences between the two regulations. While earthquake zones exist in the previous earthquake regulation, the new regulation examines the site specific earthquake risk and ground behaviour. There are also changes related to earthquake ground motion. In the 2007 earthquake regulation, the acceleration coefficient was taken as the only value according to the region where the structure is located. The new regulation takes different values for the short and long period coefficients. There are differences in definitions of ground classes. In the previous regulation the ground class was divided into 4 classes ($Z_1$, $Z_2$, $Z_3$, and $Z_4$). In the new regulation the ground class is divided into 5 classes. ($Z_A$, $Z_B$, $Z_C$, $Z_D$, $Z_E$, $Z_F$).There is also a change in the building importance coefficient. The building importance coefficient used in the previous earthquake regulation changed to 1.4 value 1.5. The new regulation includes criteria for earthquake design classes and building height classes. One of the most important changes in the new regulation is the use of the coefficient of behaviour and the coefficient of strength (D).

## PARAMETERS USED IN EARTHQUAKE REGULATIONS TDY 2007

In this study, project of a school building that is located in Gaziantep city was used. The school is located in the 3rd earthquake zone according to the 2007 earthquake regulation. The ground class was taken as $Z_2$ from the ground survey report. Since the structure is located in the 3rd earthquake zone, the effective ground acceleration coefficient $A_o$= 0.2 is taken from Table 2.2 of the 2007 earthquake regulation. The building significance coefficient is 1.4 for school building. The structural behaviour coefficient is R=7 for the frames with shear walls and reinforcement concrete columns system.

## PARAMETERS USED IN TBDY 2018 EARTHQUAKE REGULATION

According to 2018 earthquake regulations, $S_S$ = 0.395, $S_1$ = 0.143 values were determined according to the location of the school building. Soil class is determined as $Z_C$ according to soil survey report. The structural behaviour coefficient is R=7 for the frames with shear walls and reinforcement concrete columns system. The building importance coefficient 1.5 is taken from Table 3.1 of the 2007 earthquake regulation.

$S_{DS}=S_S * F_S = 0.395*1.3=0.513$

$S_{D1}=S_1 * F_1 = 0.143*1.5=0.215$

## RESULTS AND FINDINGS

The results of the calculations according to TDY 2007 and TBDY 2018 earthquake regulations are in Figures 3-6 as 4 different evaluations: structure displacement, maximum force generated in the structure, base shear force and structure rotation moment.

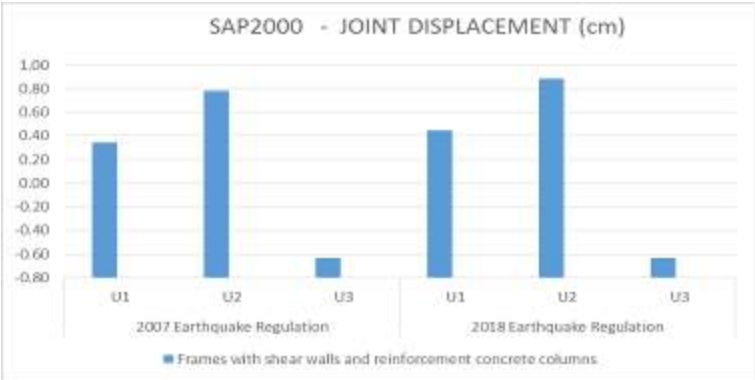



**Figure 3. Joint Displacement**

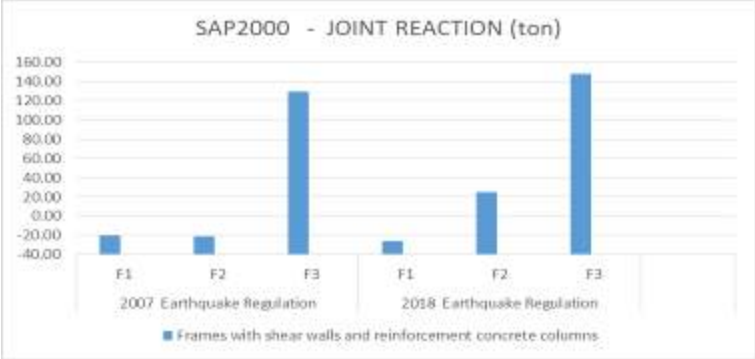



**Figure 4. Joint Reaction**

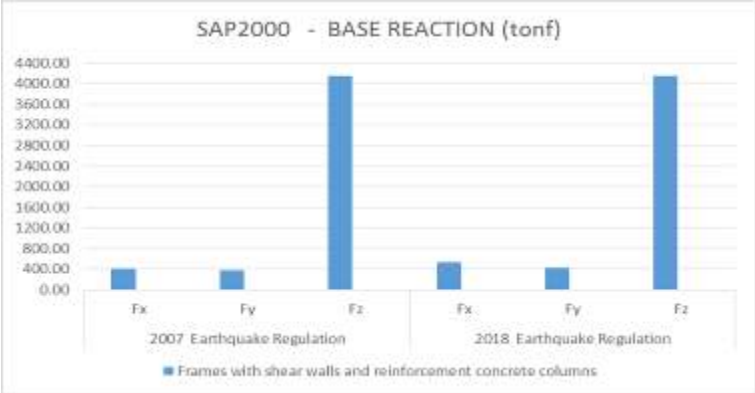



**Figure 5. Base Reaction**

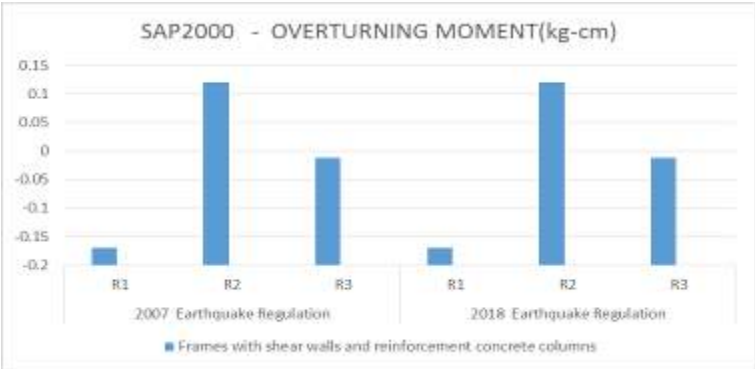



**Figure 6. Overturning Moment**

## CONCLUSIONS

The findings of this study display many differences between TBDY 2018 earthquake regulation and TDY 2007 earthquake regulation. The differences are mainly based on the change in some coefficients such as building importance, structural behaviour, acceleration coefficient and soil safety coefficients. Structural analysis results exhibit that these parameters have a significant impact on the calculations of structural systems. In conclusion;

- The joint displacement in TBDY 2018 and TDY 2007 earthquake regulations are 0.44cm and 0.34cm in X direction respectively. The joint displacement in TBDY 2018 and TDY 2007 earthquake regulations are 0.88 cm and 0.78 cm in Y direction respectively. The displacement results of the TBDY 2018 earthquake regulation are higher than the 2007 earthquake regulation results.
- TBDY 2018 Shear force results provides higher than TDY 2007 earthquake regulations. The 2007 earthquake results are 20.2 $^{t}$ in the X direction and 21.24 $^{t}$ in Y direction. TBDY 2018 earthquake regulation shear force results are 25.91 $^{t}$ in X direction and 24.93 $^{t}$ in Y direction.
- The base reaction values of TDY 2007 earthquake regulations are 408, 75 $^{t}$ in X direction and 377.99 $^{t}$ in Y direction. The base reaction values of the TBDY 2018 regulations are 541.96 $^{t}$ in X direction and 425.95 $^{t}$ in the Y direction.
- The overturning moment results both regulation results are very close to each other as -0.17 rad in X direction and 0.12 rad in Y direction.

These findings provide us that TBDY 2018 earthquake regulations stay in more safer side than the TDY 2007 earthquake regulations. Results provides that building design with TBDY 2018 earthquake regulation is , the analysis of this building with 2007 earthquake regulation will be safer.

**REFERENCES**

Ellul, F., Dina, D., 2003. The Bingol, Turkey Earthquake of the 1st of May 2003, University of Bath Architecture and Civil Engineering Department, England, pp. 10-38.

Alyamaç, K. E. and Erdoğan, A. S. (2005) 'Geçmişten Günümüze Afet Yönetmelikleri ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları', Deprem Sempozyumu, pp. 707–715.

Deprem, N. A. et al. (2018) 'Resmî Gazete', 30364(1).

Türkiye Deprem Yönetmeliği, Mart, (2007), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve Ġskan Bakanlığı, Ankara

Ge, B. and Hükümler, E. L. (2007) 'Deprem bölgelerinde de yapilacak binalar hakkında yönetmelik'.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Mart, (2018), DEPREM ETKİSİ ALTINDA BİNALARIN TASARIMI İÇİN ESASLAR.

# CALCULATION OF HEAT CONDUCTIVITY VALUES OF SOME METALS BY USING ANN

Medine ATMACA, Department of Mathematics, Gaziantep University, mdntmc12@gmail.com

Assoc.Prof.Dr. Necati OLGUN, Department of Mathematics, Gaziantep University, olgun@gantep.edu.tr

**ABSTRACT**: There are 4 main layers of Neuro fuzzy artificial intelligence systems which have a wide range of application area. These are fuzzification, analysis, function and defuzzification layers. It is very important to calculate accurately the heat thranfer coefficient of materials in thermodynamic problems. In order to calculate the heat transfer coefficient by using theoretical and experimental methods, the inner and outher side temperatures, material thickness, humidity of the environment and surface orea of the material are the basic factors. In this study, the thermal conductivity of aluminum and brass materails have been calculated by using artificial neural networs methodology. The heat transfer consuction coefficient generated by the formulation has been compared with the experimantal results and the correlation coefficient has been checked. The generated formulation will be very useful fort he researchers.

**Key words:** ANN, Artificial neural networks, Heat consyction coefficiecnt, Aluminum, Brass.

# BAZI METALLERİN ISI İLETİM KATSAYISININ YSA METODU İLE BELİRLENMESİ

**ÖZET**: Oldukça yaygın bir kullanıma sahip olan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi 4 ana katmandan oluşmaktadır. Bunlar, Bulanıklaştırma, Analiz, Fonksiyon ve Berraklaştırma katmanlarıdır. Termodinamik problemlerinde ısı iletim katsayısının doğru hesap edilmesi oldukça önemlidir. Isı iletim katsayısının deneysel ve teorik olarak hesaplanmasında; iç ve dış ortam sıcaklığı, malzeme kalınlığı, ortam nem koşulları ve kesit yüzey alanı gibi birçok faktör etkilidir. Bu çalışmada, aluminyum ve pirinç alaşımlı malzemeler için ısı iletim katsayısı bulanık yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Ortaya çıkan yeni formülle elde edilen ısı iletim katsayısı değerleri deneysel ısı iletim katsayısı değerleri ile karşılaştırılmış ve korelasyon katsayısı kontrol edilerek birbiri ile uyumlu çıkan sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar sayesinde pratik olan bu formül araştırmacıların kullanımına sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler**: YSA, Bulanık Mantık, Isı iletim katsayısı, Aluminyum, Pirinç.

## GİRİŞ

Kinetik teorisine göre doğada bulunan bir maddeyi oluşturan moleküllerin ortalama kinetik enerjileri o maddenin sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Bir bölgedeki moleküllerin ortalama kinetik enerjileri yüksek olan ortam içerisindeki bölgede sıcaklık yüksektir. moleküller arası enerji iletimi Katılarda yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru maddenin ve moleküllerin yapısını oluşturan kafeslerin titreşimleri ile olur. Sıvılarda ise moleküllerin birbirini takip eden çarpışmaları ile olur. (Altun, Ö. & Böke, E., 2009). Isı iletim katsayısının doğru hesap edilmesi oldukça önemlidir. bu katsayının deneysel ve teorik hesabındaki önemli faktörler iç ve dış ortam sıcaklığı ,malzeme kalınlığı, kesit yüzey alanı, ve ortam nem koşullarıdır. Isı iletim katsayısının hesaplanmasında deneysel ve teorik hataların ortaya çıkmasının yanı sıra harcanan zaman ve maliyet kaybının da çıkması kaçınılmazdır. Isı iletim katsayısının hesap edilmesinde alternatif bir yaklaşım olarak YSA Metodu kullanılarak ortaya çıkan yeni formülle elde edilen ısı iletim katsayısı değerleri deneysel ısı iletim katsayısı değerleri ile karşılaştırılmış ve korelasyon katsayısı kontrol edilmiştir.

## YÖNTEM

### Isı Transferi

Termodinamiğin 2. Yasasına göre iki ortam arasında sıcaklık farkı varsa ısı yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama geçer. Isı transferi sistemi üç başlık altında incelenmelidir. Bunun nedeni ısınım geçişinin ortam sıcaklıklarındaki farka bağlı olduğu kadar, ortam ve yüzeylerinin özelliklerine de bağlı olmasından kaynaklanmaktadır.

### *İletim*

İletimle (kondüksiyon) ısı geçişi bir cismin birbirinden farklı olan sıcaklıktaki bölgeleri arasında, birbiriyle temas halinde olan parçacıklardan yüksek enerji seviyesinde bulunan parçacıklardan, düşük enerji seviyesinde bulunan parçacıklara doğru geçen enerji katı, sıvı ve gaz ortamlarında gerçekleşebilmesidir.

Fourier Isı İletim Yasası

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi iki boyutlu oldukça büyük düz bir levha örnek olarak alınsın. $T_1$ ve $T_2$ levha yüzey sıcaklıkları ($T_1 > T_2$) $A$ levhanın yüzey alanını göstersin. Sıcaklık geçişi $T_1$ (sıcak yüzeyinden $T_2$ (soğuk) yüzeyine doğru olacak ve zamanla değişmeyecektir. Deneylere göre ısı geçişi;

$$q = A\frac{T_1 - T_2}{L}$$

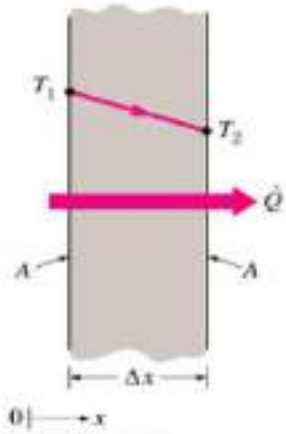
şeklinde olmalıdır. Yukarıda da gösterildiği gibi, katı bir cisimden ısı geçiş hızı levha kalınlığı L ile ters orantılı *A* yüzeyi ve ($T_1$-$T_2$) sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır. Yukarıdaki ifadenin içerisine orantı kat sayısı *k* yerleştirilirse,

$$q = -kA\frac{(T_2 - T_1)}{L}$$

şeklindeki ifade elde edilir. Isı iletim katsayısı malzemenin bir özelliğidir ve k olarak ifade edilir. Termodinamiğin 2.yasası gereği ısı iletim katsayısı sıcaklığın azaldığı yönündedir. Bu nedenle sıcaklık farkı ile ısı akısı ters işaretlidir. Pozitif yönde ısı geçişi elde etmek için yukarıda bulunan ifadenin önüne ( - ) işareti konulur. Isı iletim katsayısı olan k'nın boyutu SI birim sisteminde W/mK veya W/m$^o$C'dır.

***Taşınım***

Katı yüzey ile akışkan yüzey arasında gerçekleşen ısı transferinin bir çeşidi olan taşınım (konveksiyon) katılarda olmaz, sadece hareket halinde olan akışkan( sıvı ya da gazlarda) olur. (TURAN, O. 2018).

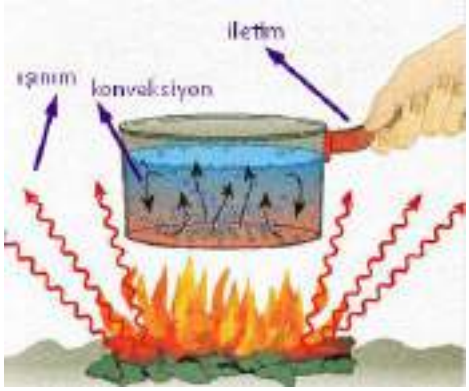



**Şekil 1. Düzlem bir duvarın her iki yüzeyinde taşınım sınır şartı**

***Işınım***

Işınım olarak adlandırılan sonlu sıcaklığa sahip bir cisim tarafından elektromanyetik dalgalar şeklinde yayılan enerji ile ısı transferi için bir ortam gerekliliği bulunmamaktadır. Hatta ışınım ile ısı transferi boşlukta daha etkin olarak gerçekleşmektedir. Ancak iletim ve taşınımda ısı transferi için bir ortama ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm maddeler ışınımı farklı seviyelerde soğurur, yayar veya geçirirler. (TURAN, O. 2018).

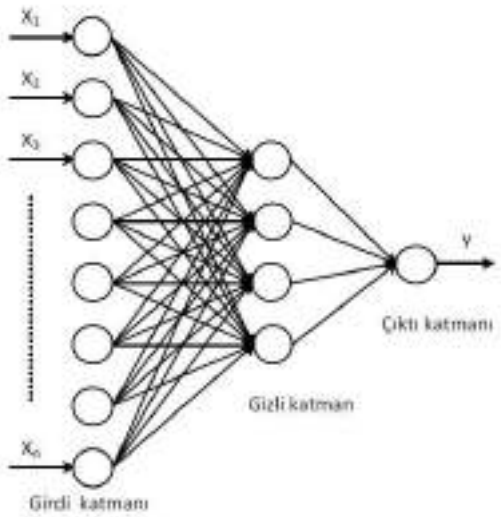
Genel olarak ısı transferi mekanizmaları Şekil 2.'deki gibi belirtilebilir.




**Şekil 2. Isı Transferi Mekanizmaları**

**Sinirsel Bulanık Sistem (Neuro-Fuzzy)**

Yapay sinir ağları, Bulanık sinirsel ağlar ve bulanık sistemlerin birleşiminden oluşan sinirsel bulanık sistem yapay zekâ tekniklerinden birisidir. Bulanık mantık yaklaşımı, karar almada çok iyi sonuçlar verir. Ancak bu süreç içerisindeki kural oluşturmayı kendiliğinden gerçekleştiremez. Yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneği, bulanık mantığın insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama kolaylığı gibi üstünlüklerinin birleştirilmesi düşüncesine dayanmaktadır. Sinirsel bulanık mantık yaklaşımı, bu yolla bulanık denetim sistemlerine, sinir ağlarını öğrenme ve hesaplama gücü verilebilir. Sinir ağlarına da uzman bilgisi sağlama yeteneği ve karar verme yeteneği de edindirilmektedir. (Çoban, M.A., 2012).




**Şekil 4. Biyolojik ve Nöral Hücre**

## BULGULAR
### Deneysel Veriler

Bu çalışmada alüminyum ve pirinç alaşımlı malzemelerin ısı iletim katsayısının bulanık yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Isı iletim katsayılarının zamana bağlı olarak değişimi incelendi. Deney numunesi olarak kullanılan pirinç ve alüminyum alaşımı 50 W güç girişi altında 70 °C sabit rezistans sıcaklığı altındadır. Bulunan veriler tablo oluşturularak gözlemlendi. Bu çalışma kapsamında alüminyum ve pirinç alaşımlı malzemeler için belirli sıcaklıklardaki ısı iletim katsayısı değerleri Özçelik vd. (2017)'de bulunan deneysel verilerden alınmıştır. Söz konusu malzemelerin her katmandaki girdileri sıcaklık değerleri, ve ölçüm süreleridir. Isı iletim katsayısı değeri ise çıktıdır.

## FORMÜLLERDEN ÇIKAN ISI İLETİM KATSAYISI DEĞERLERİ

Ağın çıktı değerleri sunulan girdiye bağlı olarak hesaplanılır. Çıktı verileri eğitim verilerinden yola çıkılarak elde edilmeye çalışılır. Girdi hesaplamadaki en önemli husus çıktı değerlerinin en düşük hata ile tahmin edilmeye çalışılmasıdır.Ayrıca YSA 'nın en temel kuralı da budur.

**Tablo 3. Sistem için tasarlanan Alüminyum malzemesi Girdi ve Çıktı Tablosu**

| Ölçüm Süresi (Dakika) | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | Deneysel | YSA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 17,1 | 16,6 | 16,6 | 16,1 | 17,1 | 17,1 | 17,6 | 18,6 | 25,4 | 25,4 | 796,18 | 796,1859 |
| 10 | 17,1 | 17,1 | 16,6 | 16,1 | 17,6 | 18,1 | 19,5 | 22 | 39,6 | 40 | 306,22 | 302,28 |
| 15 | 17,1 | 17,1 | 16,6 | 16,6 | 17,6 | 19 | 20,5 | 24,9 | 42,5 | 42,5 | 202,42 | 204,35 |
| 20 | 17,1 | 17,1 | 17,1 | 16,6 | 17,6 | 20,5 | 22,5 | 27,3 | 44,4 | 43,9 | 175,63 | 165,24 |
| 25 | 17,6 | 17,6 | 17,1 | 17,1 | 18,1 | 21,5 | 23,4 | 28,3 | 44,4 | 45,4 | 175,63 | 165,24 |
| 30 | 17,6 | 17,6 | 17,1 | 17,1 | 18,6 | 22 | 23,9 | 28,8 | 44,4 | 44,9 | 175,63 | 165,24 |
| 35 | 17,6 | 17,6 | 17,1 | 16,6 | 18,6 | 22,5 | 24,4 | 29,3 | 44,4 | 44,9 | 175,63 | 165,24 |
| 40 | 18,1 | 17,6 | 17,1 | 17,1 | 18,6 | 22,5 | 24,9 | 29,3 | 44,4 | 44,4 | 175,63 | 165,24 |
| 45 | 17,6 | 17,6 | 17,1 | 17,1 | 18,6 | 22 | 24,9 | 28,8 | 43,5 | 43,9 | 175,63 | 165,24 |
| 50 | 17,6 | 17,6 | 17,6 | 17,1 | 18,6 | 22,5 | 24,4 | 29,3 | 43,5 | 43,5 | 175,63 | 165,24 |

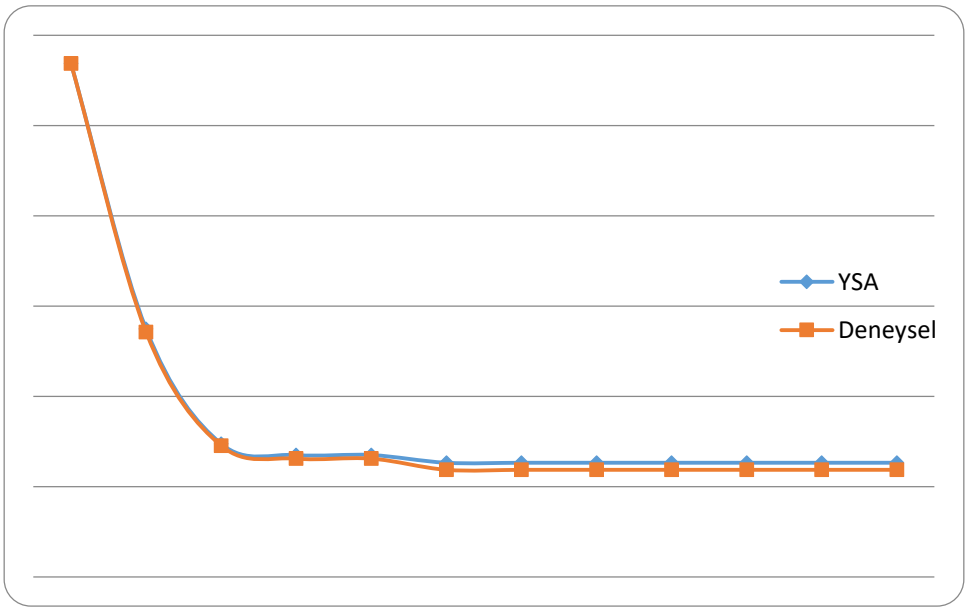
| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 55 | | 18,1 | 17,6 | 17,6 | 17,1 | 18,6 | 22,5 | 24,9 | 29,3 | 43 | 43,5 | 175,63 | 165,24 |
| 60 | | 18,1 | 18,1 | 17,6 | 17,6 | 19 | 22,5 | 24,9 | 29,3 | 43 | 43 | 175,63 | 165,24 |

**Tablo 4. Sistem için tasarlanan Pirinç malzemesi Girdi ve Çıktı Tablosu**

| Ölçüm Süresi (Dakika) | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | Deneysel | YSA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 17,6 | 17,6 | 17,6 | 17,1 | 18,1 | 17,6 | 18,6 | 19 | 26,9 | 33,7 | 568,69 | 568,69 |
| 10 | 18,1 | 18,1 | 18,1 | 17,6 | 18,6 | 18,6 | 19,5 | 21,5 | 37,4 | 68,4 | 274,54 | 271,25 |
| 15 | 18,1 | 18,1 | 18,1 | 17,6 | 18,6 | 19 | 20,5 | 24,4 | 41,5 | 43 | 147,44 | 145,36 |
| 20 | 18,1 | 18,1 | 18,1 | 17,6 | 18,6 | 20 | 21,5 | 25,9 | 43,5 | 44,4 | 134,95 | 130,96 |
| 25 | 18,1 | 18,1 | 18,1 | 18,1 | 19 | 20,5 | 22,5 | 26,4 | 43,5 | 45,4 | 134,95 | 130,96 |
| 30 | 18,1 | 18,1 | 18,1 | 18,1 | 19 | 21 | 23 | 27,3 | 44,4 | 45,4 | 126,38 | 118,56 |
| 35 | 18,1 | 18,1 | 18,1 | 18,1 | 19 | 21 | 23 | 27,3 | 43,9 | 45,4 | 126,38 | 118,56 |
| 40 | 18,6 | 18,6 | 18,1 | 18,1 | 19 | 21 | 23 | 27,3 | 43,9 | 45,9 | 126,38 | 118,56 |
| 45 | 18,6 | 18,6 | 18,1 | 18,1 | 19,5 | 21 | 23 | 27,3 | 43,9 | 45,9 | 126,38 | 118,56 |
| 50 | 18,6 | 18,6 | 18,6 | 18,6 | 19 | 21 | 23 | 27,3 | 43,5 | 44,9 | 126,38 | 118,56 |
| 55 | 18,6 | 18,6 | 18,6 | 18,1 | 19,5 | 21 | 23,4 | 27,3 | 43 | 48,3 | 126,38 | 118,56 |
| 60 | 18,6 | 18,6 | 18,6 | 18,1 | 19,5 | 21 | 23 | 27,3 | 43,5 | 48,8 | 126,38 | 118,56 |

Eğitim verilerini kullanarak gerekli öğrenmeyi sağlayan YSA daha sonra öğrenme setindeki örneklerin ağa uygulanması ile öğrenme işlemini gerçekleştirir. YSA ‘nın test eğitim verilerinin ağa uygulanması ile belli bir hata değeriyle tahmin etme işlemi Ysa’nın öğrenme yeteneğini gösterir. Öğrenmede ağırlıklar rastgele atanır. öğrenmeye bağlı olarak YSA ‘nın eğitilmesi işleminde de ağırlıklar çıkışa bağlı olarak sistemli bir Şekilde öğrenme gerçekleştirildikten sonra güncellenecektir. İleri beslemeli YSA'da hata istenilen düzeyin altına indiğinde veya belli bir iterasyon sayısı tamamlandığında öğrenme ve ağın eğitimi bitmiş olur. YSA ile ısı iletim katsayısının tahmin edilmesi için Neuro Solution programı kullanılmıştır. Isı iletim Katsayısı tahmini için sırası ile

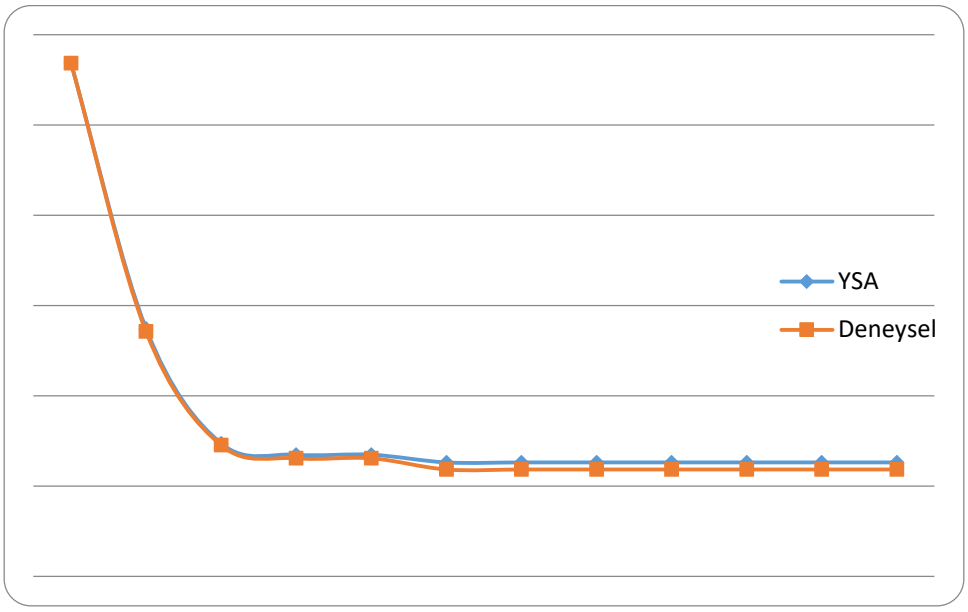
aşağıdaki aşamalar test edilmiştir. Eğitim verileri daha iyi bir sonuç elde edilmesi için Neuro Solutionda normalize edildi. Şekil 8 ve 9 da görüldüğü gibi ısı ıletim katsayısı tahmini için elde edilen grafiklerde sonuçların yakınsadığı görülmüştür.




**Şekil 8. Alüminyum Malzemesi için YSA-Deneysel Sonuçlar**

Eğitimin deney verileri ile tamamlanmasından sonra, ağın güvenilirliğini sınamak amacıyla, eğitim kümesinden gerçek çıkış ile yapay sinir ağının hesaplamış olduğu çıkış karşılaştırılarak elde edilen YSA çıkışı ile Eğitim verisinin çıkışı grafiksel olarak görsel bi şekilde gösterilmiştir. Yani ısı iletim katsayısı başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir.

Eğitim sonucu tahmin edilen ısı iletim katsayısı değeri mavi çizgi ile YAS deneysel ısı iletimi değerleri ise sistemde kırmızı çizgi ile gösterilmektedir.




**Şekil 9. Pirinç Malzemesi için YSA-Deneysel Sonuçlar**

## SONUÇ

Termodinamik problemlerinde ısı iletim katsayısının doğru hesap edilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmamızda Isıl İletim Katsayısı Bulanık Mantık İle Modellenmesi 25 deneysel veri kullanılarak yapılmıştır. Isı iletim katsayısının deneysel ve teorik olarak hesaplanmasında; iç ve dış ortam sıcaklığı, malzeme kalınlığı, ortam nem koşulları ve kesit yüzey alanı gibi birçok faktör etkilidir. Bu çalışmada, alüminyum ve pirinç alaşımlı malzemeler için ısı iletim katsayısı bulanık yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Ortaya çıkan yeni formülle elde edilen ısı iletim katsayısı değerleri deneysel ısı iletim katsayısı değerleri ile karşılaştırılmış ve korelasyon katsayısı kontrol edilerek birbiri ile uyumlu çıkan sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar sayesinde pratik olan bu formül araştırmacıların kullanımına sunulmuştur.

## KAYNAKÇA

Altun, Ö. & Böke, E. (2009). Isıl Engelleyici Kaplamaların Etkin Isı İletim Katsayısının Teorik Olarak Belirlenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22 (2) 139-152.

Civalek, Ö., Çatal, H.H., (2004). Geriye Yayılma Yapay Sinir Ağı Kullanarak Elastik Kirişlerin Statik ve Dinamik Analizi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(1),1-16.

Çoban, M.A., (2012). Konut Yapımında Kullanılan Farklı Duvar tipleri için Toplam Eşdeğer Sıcaklık Farklarının(TESF) Bulanık Sinirsel Denetim Metoduyla Tahmini Olarak Elde Edilmesi, Gaziantep Üniversitesi Matematik Bölümü.

Ergezer, H., Dikmen, M., Özdemir, E., 2003, Yapay Sinir Ağları ve Tanıma Sistemleri, Pivolka, s. 14-17

Özçelik (2017)Teskon Termodinamik Sempozyumu

TURAN, O., (2018) Ders Notları, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü.

# UNDERGRADUATE INDUSTRIAL CONTROL LABORATORY EXPERIMENTAL SETUP: PART 3 LIQUID LEVEL CONTROL WITH PLC

Cengiz TEPE, Ondokuz Mayıs University, Electrical and Electronics Engineering Department, cengiztepe1@gmail.com

Mehmet Serdar ÇELİK, Ondokuz Mayıs University, Electrical and Electronics Engineering Department, mehmetserdar.celik@omu.edu.tr

Mustafa ÖZÇELİK, Ondokuz Mayıs University, Electrical and Electronics Engineering Department, ozcelikm.emin@gmail.com

İlyas EMİNOĞLU, Ondokuz Mayıs University, Electrical and Electronics Engineering Department, ilyaseminoglu@hotmail.com

**ABSTRACT**: Liquid level control systems controlled by PLC (Programmable Logic Controller) are one of the widely used applications in industry and commercial products. To implement this process control by PLC will make a significant contribution to the future professional life of Electical and Electronics, Control, Mechatronic and Machine Engineering departments students. For this purpose, through a commercial PLC and HMI (Human Machine Interface) display, a experimental setup was designed and implemented to control 50 cm height tank liquid level. PID (Proportional - Integral - Derivative) block in the PLC software was used as the controller. Liquid level was measured using a magnetic liquid level sensor, which provides level information as a 4-20 mA current output. The level information in the range of 4-20 mA is converted to the voltage value in the range of 0-10 V by the signal converter and read from the analog input of PLC. Direct current bilge pump was used as actuator and driven by L298 direct current motor driver. Disturbance can be applied to the system by a drain valve. The liquid level data, which is the instant output value of the process, is displayed both on the HMI display with a bar and numerically. Thanks to this study using industrial devices, the students are given the ability to implement an industrial application besides providing theoretical knowledge.

**Key words:** level control, experimental setup, PLC, industrial, education

# LİSANS ENDÜSTRİYEL KONTROL LABORATUVARI DENEY DÜZENEĞİ: BÖLÜM 3 PLC İLE SIVI SEVİYE DENETİMİ

**ÖZET:** PLC ile denetlenen sıvı seviye denetim sistemleri, endüstride ve ticari ürünlerde yaygın olarak kullanılan uygulamalardan bir tanesidir. Elektrik - Elektronik, Kontrol, Mekatronik ve Makine Mühendisliği bölümü öğrencilerinin bu prosesi tanımaları ve bu prosesin PLC (Programmable Logic Controller) aracılığıyla nasıl denetlenebileceğini öğrenmeleri, gelecek meslek hayatları için öğrencilere ciddi katkılar sunacaktır. Bu amaçla, ticari bir PLC ve HMI (Human Machine Interface) ekran aracılığı ile, 50 cm yüksekliğe sahip tanktaki sıvı seviyesini denetleyen bir deney seti gerçeklenmiştir. Denetleyici olarak PLC yazılımı içerisindeki PID (Proportional – Integral - Derivative) bloğu kullanılmıştır. Sıvı seviye ölçümü, seviye bilgisini 4-20 mA akım çıkışı olarak veren manyetik sıvı seviye sensörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 4-20 mA aralığındaki seviye bilgisi, sinyal dönüştürücü ile 0-10 V aralığındaki gerilim değerine dönüştürülmüş ve PLC analog girişinden okunmuştur. Eyleyici olarak doğru akım sintine pompası kullanılmış olup, L298 doğru akım motor sürücüsü ile sürülmüştür. Sisteme bir vana yardımıyla bozucu etki uygulanabilmektedir. Prosesin anlık çıkış değeri olan sıvı seviye bilgisi, HMI ekran üzerinden hem bir bar ile hem de sayısal olarak gösterilmiştir. Endüstriyel cihazlar kullanılarak yapılan bu çalışma sayesinde öğrencilere teorik bilgi vermenin yanında, endüstriyel bir uygulamayı gerçekleştirme becerisi kazandırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** seviye denetimi, deney düzeneği, PLC, endüstriyel, eğitim

## GİRİŞ

Sıvı seviye denetimi endüstriyel sistemlerde ve ticari ürünlerde sıklıkla uygulanmaktadır ve çeşitli uygulama yolları gerçekleştirilmiştir. En basit sıvı seviye uygulaması su tankındaki sıvı seviyesinin mekanik olarak şamandıralar vasıtasıyla algılanmasıdır. Sıvıya göre yoğunluğu daha düşük olan şamandıra, sıvı seviyesi arttıkça sıvı yüzeyine yükselir. İlk seviye uygulamalarında şamandıralar kablo, makara ve dişliler ile birlikte çalışırken günümüzde manyetik yöntemler kullanan şamandıralar da kullanılmaktadır (Şahbazlı, 2017). Önceden belirli bir seviyeyi ya da belirli bir aralığı algılayan sıvı seviye uygulamaları şamandıralı seviye şalterleri, ultrasonik şalterler ve kapasitif problar gibi algılayıcılar ile kolaylıkla gerçekleştirilebilir (Milli Eğitim Bakanlığı, 2009). Mekanik seviye şalteri (A) ve iletken elektrotlara (B) ait bir görsel Şekil 1'de verilmiştir.

**Şekil 6. Belirli Bir Seviyeyi Algılamak İçin Kullanılan Mekanik Seviye Şalteri (A) ve Aralık Algılamada Kullanılan İletken Elektrotlar (B)**
**Noktasal olarak değişken ve hassas ölçüm gerektiren uygulamalar için oransal manyetik sıvı seviye sensörü, radar ya da ultrasonik sensör kullanılabilmektedir.**

Günümüz endüstriyel uygulamalarının yaklaşık %90'ında denetim, PID (Proportional-integral-derivative) algoritmasıyla gerçekleştirilmektedir (Astöm & Hagglund, 2006). Sistemler, ticari PID cihazları ile ya da PLC (programmable logic controller) cihazlarında koşturulan PID algoritmalarıyla denetlenebilir.

Sıvı seviye denetimi, endüstride ve ticari ürünlerde sıklıkla kullanılmasının yanında kontrol yöntemlerinin anlaşılması, geliştirilmesi ve uygulanmasında kullanılabilecek pratik bir sistemdir. Çalışmanın amacı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde verilen Kontrol Sistemleri Laboratuvarı dersini alan öğrencilerin, gelecek iş hayatlarına adapte olmalarını kolaylaştırmak ve endüstride sıklıkla kullanılan bu gibi sistemlere aşina olmalarını sağlamaktır. Bu amaçla, günümüzde bazı firmalar tarafından üretilen ticari deney setleri bulunmaktadır. Ticari deney setleri üreten Feedback Instruments, Kent Ridge Instruments, Çokesen Elektronik ve Ulus Otomasyon firmalarına ait sıvı seviye deney setleri mevcuttur. Şekil 2'de Kent Ridge Instruments firmasına ait sıvı seviye deney setinin görseli paylaşılmıştır.

**Şekil 7. Ticari Sıvı Seviye Denetimi Deney Seti Örneği (Kent Ridge Instruments, 2019)**

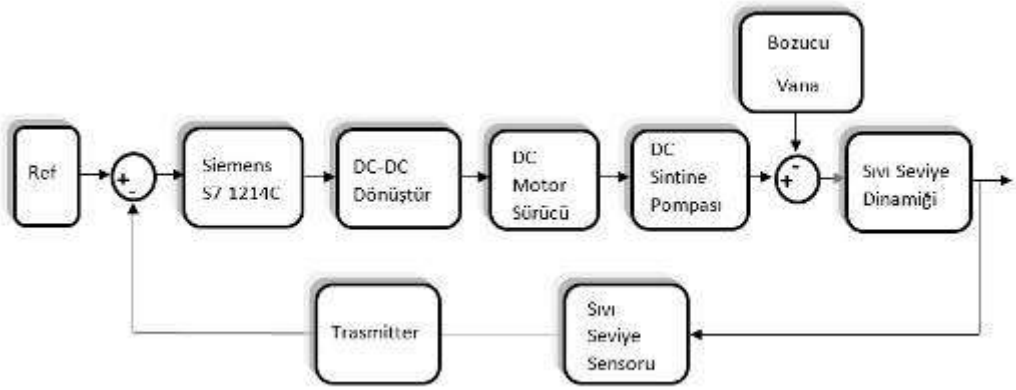
Sıvı seviye denetimi akademik çalışma ve kaynaklarda da kendine sıklıkla yer bulmuştur. Erdemir (2006) çalışmasında, üniversite kontrol laboratuvarı için doğrusal olmayan sistemlerin kontrol yazılımlarının üzerinde denenebileceği web tabanlı bir deney seti yapmayı amaçlamıştır ve tasarladığı deney seti üzerinde PID, bulanık mantık, aç-kapa denetim gibi farklı denetim yöntemlerini uygulamıştır. Adiyan (2012) gerçekleştirdiği çalışmasında motor sürücüsü içinde yer alan PID denetleyicisi ile, potansiyometreye bağlı bir şamandıra ve santrifüj pompa kullanarak sıvı seviye sistemini denetlemiştir. Ulu (2010) gerçekleştirdiği çalışmasında kontrol deneylerinde kullanılması için geliştirilmiş bir sıvı seviye sistemini PID denetimi ile MATLAB® paket programı üzerinden gerçek zamanlı olarak denetlemiştir. Literatüre yansıyan bir başka çalışmada sıvı seviyesi PLC içerisindeki PID denetleyici ile denetlenmiştir ve denetleyici parametreleri röle geribesleme yöntemiyle otomatik olarak ayarlanmıştır (Dandan, Zhiyun, Meng, Yue & Chen, 2015). Bir diğer çalışmada PID ve bulanık mantık temelli denetleyicilerle kimyasal endüstrisinde kullanılacak endüstriyel bir sıvı seviye denetim düzeneği tasarlanmıştır (Bu, Li, Chen & 2016). Benzer biçimde Popescu (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da sıvı seviye denetimi için PID ve bulanık mantık tabanlı denetleyiciler karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma ile, Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümü Kontrol Sistemleri dalı öğrencilerinin endüstride sıklıkla kullanılan sıvı seviye denetimini gerçekleştirebilmeleri, bu sistemde kullanılan endüstriyel sensör ve denetleyicileri kullanabilmeleri amaçlanmıştır. PLC ile gerçekleştirilen bu çalışmada PID denetimi kullanılmış olup diğer denetim yöntemlerinin de düzenekte denenmesi mümkündür. Teorik kontrol eğitiminin endüstriyel yansımalarını gören öğrencilerin özgüvenlerinin ve ilgilerinin arttırılması planlanmıştır.

## DENEYSEL ÇALIŞMA

### Sıvı Seviye Deney Düzeneği Tasarımı ve Gerçeklemesi

Bu çalışmada tasarlanan ve gerçeklenen deney düzeneğinin öbek çizgesi Şekil 3'te ve deney düzeneği Şekil 4'te verilmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan devre elamanları Tablo 1'de gösterilmiştir.




**Şekil 3. Sıvı Seviye Sistemi Blok Diyagramı**

**Şekil 4. Sıvı Seviye Sistemi Genel Görünümü**

**Tablo 1. Sıvı Seviye Sisteminde Kullanılan Malzemeler**

| Malzemeler | Harflendirme |
|---|---|
| Siemens S7 1214C PLC | A |
| KTP700 Basic HMI | B |

| | |
|---|---|
| 4-20ma to 0-10V Transmitter | C |
| Manyetik Sıvı Seviye Sensörü | D |
| DC-DC Dönüştürücü | E |
| DC Motor Sürücü | F |
| 12V, 24V DC Kaynak | G |
| 12V DC Sintine Pompası | H |

***Manyetik Sıvı Seviye Sensörü***

Manyetik sıvı seviye sensörü (Şekil 5) 12 volt ile beslenmektedir. Çıkışı ise 4-20 mA arasında sıvı seviyesine göre değişmektedir. Kullanılan PLC modeli analog giriş olarak 0-10 V arasını kabul etmektedir. Bu nedenle 4-20 mA değerini 0-10 V değerine dönüştüren trandüser kullanılmıştır. Sensör bağlantı şeması Şekil 9'da gösterilmiştir.

**Şekil 5. Manyetik Sıvı Seviye Sensörü**

***DC-DC Dönüştürücü***

Şekil 6' daki dönüştürücü 900 kHZ değerlerine kadar çalışabilmektedir. Dönüştürücünün $V_{IN}$ girişine PLC Q0.0 çıkışından gelen 24 V'luk PWM sinyali bağlanır. $V_{OUT}$ çıkışından ise doğru akım (DC) motor sürücüsüne gidecek 5V'luk PWM alınır. GND hem PLC hem de DC motor sürücüsü toprağı ile kısa devre edilir.

**Şekil 6. Dc-Dc Dönüştürücü**

***Su Pompası***

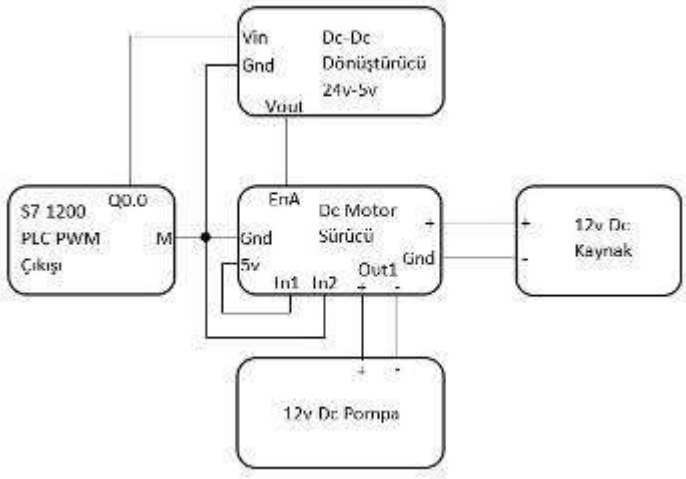
Şekil 7′ de doğru akım sintine pompası gösterilmiş olup pompa 12 V ile beslenmektedir. Pompa 500 GPH (galon per hour) değerinde sıvı pompalamaktadır ki bu değer 1890 saat başına litre hacmine denktir. Su pompasının bağlantı şeması Şekil 14′te gösterilmiştir.

**Şekil 7. Su Pompası**

***L298n Motor Sürücü***

Şekil 8′deki L298n motor sürücüsü 2 tane dc motoru 2A ve 35V değerlerine kadar sürebilmektedir. 12V besleme gerilimi yapılmıştır. ENA girişine dönüştürücüden gelen PWM sinyali bağlanmıştır. Pompa ise OUT1 çıkışına bağlanmıştır. IN1 girişine kartın üzerindeki 5V′luk çıkış ve IN2 ‘ye ise topraktan bağlantı yapılarak yön bilgisi girilmiştir. Bağlantı şeması Şekil 9′da gösterilmiştir.

**Şekil 8. L298n Motor Sürücüsü**

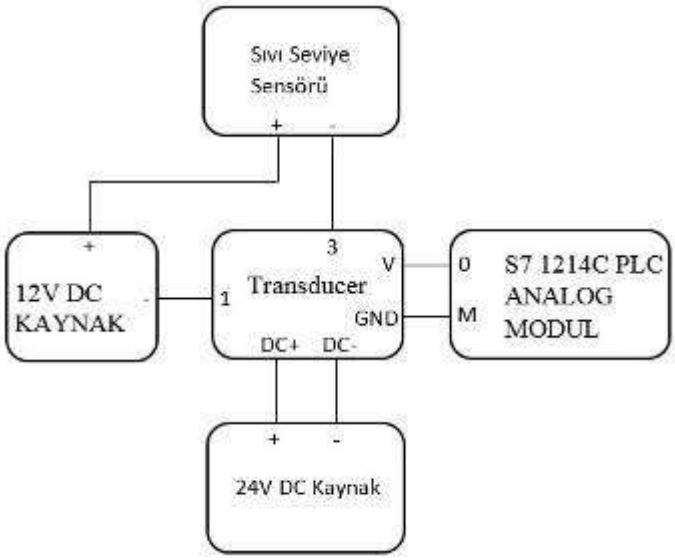



**Şekil 9. Motor Sürücü Bağlantıları**

*Transdüser (Dönüştürücü)*

Şekil 10'da A potu 3, B potu 7, D potu ise 3 olarak ayarlandığında 4-20mA giriş değeri 0-10V çıkış değerine çevrilmektedir. Dönüştürücünün bağlantı şeması Şekil 11'de gösterilmiştir.

**Şekil 10. Transdüser**



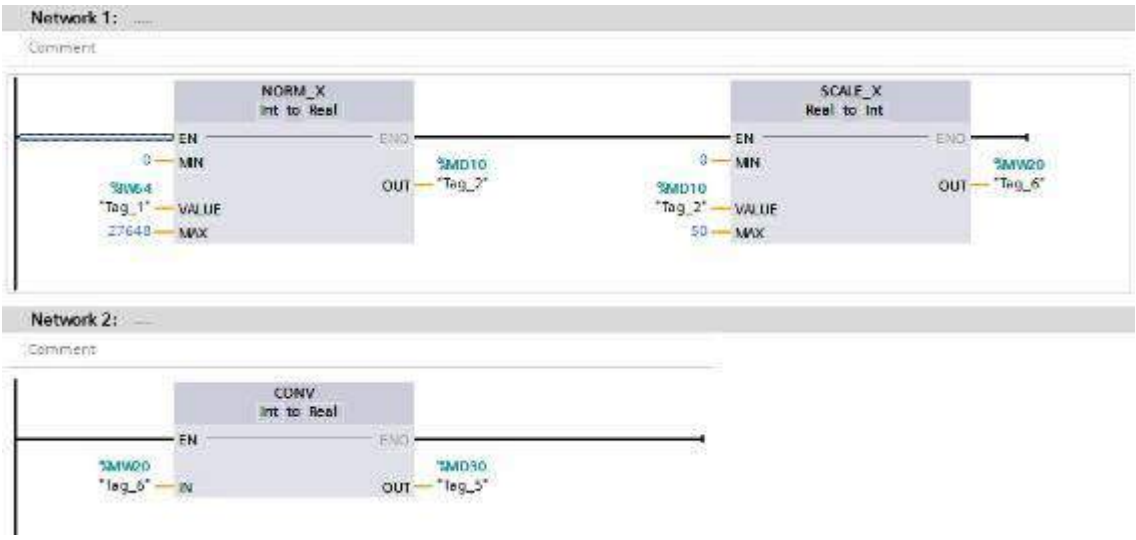

**Şekil 11. Transdüser Bağlantıları**

**PLC Programı**

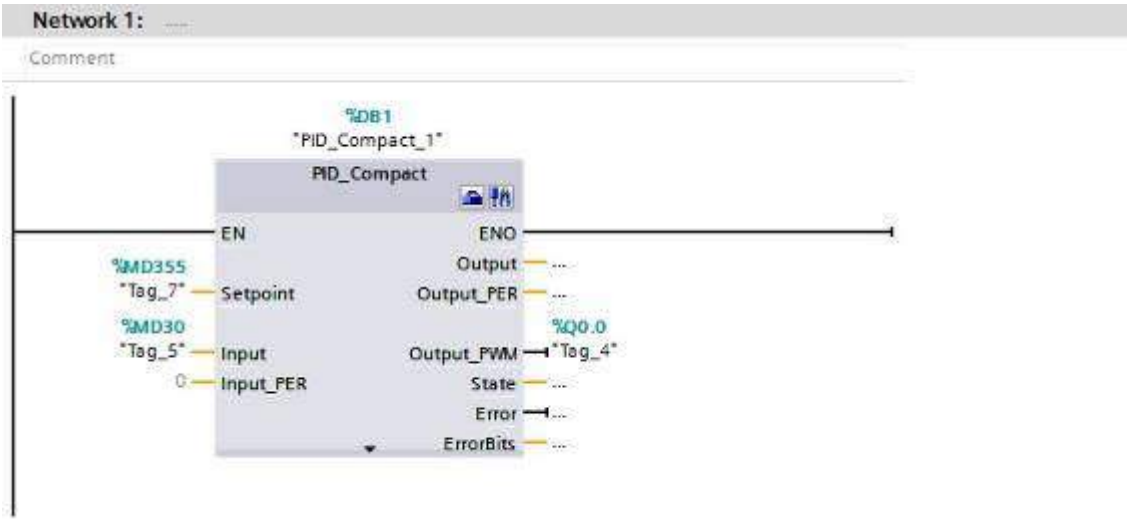
Şekil 12 ve Şekil 13'de gözüktüğü gibi Network 1 ve Network 2 Program Blocks altında bulunan Main Block içerisinde iken PID bloğu Cyclic Interrupt içerisindedir. Transdüser 0-10 V çıkış vermeye ayarlandığından NORM_X bloğunda MAX değer olarak 10V değerinin sayısal karşılığı olan 27648 değeri girilmiştir.

NORM_X bloğu analog gerilim geldiğinde sayısal karşılığı olan değeri 0-27648 arasındaki konumuna göre yüzdeliğe çevirmektedir. SCALE_X bloğu ise yüzdelik değeri 0-50 arasına çevirir.

HMI ekranda sıvı seviyesi tam sayı olarak gösterilmek istenmiştir. Çünkü kullanılan manyetik sıvı seviye sensörü 1 cm hassasiyetinde çalışmaktadır. Bunun için SCALE_X bloğu çıkışı tam sayı olacak şekilde ayarlanmıştır. PID bloğu girişinde ise reel sayı girilmesi için CONV bloğu ile sıvı seviye değişkeni reel sayı tipine dönüştürülmüştür.




**Şekil 12. Ladder Diyagramı**




**Şekil 13. PID bloğunu içeren Cyclink Network**

## PLC Tag Tablosu

PLC hafızası içerisinde yardımcı röleler ve donanımsal çıkışların adresleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2. PLC Etiket ve Adresleri**

| Etiketler | PLC Adres | Açıklamaları |
|---|---|---|
| Tag_1 | %IW64 | Manyetik sıvı seviye sensörünün bağlı olduğu sinyal dönüştücüden çıkan 0-10 V arası analog değerin okunduğu PLC adresi |
| Tag_2 | %MD10 | 0-10 V analog değerin 0-27648 sayısal değerleri arasında ve yüzdeliğe çevrilmiş değerini tutan PLC adresi |
| Tag_4 | %Q0.0 | Motor sürücüsüne gönderilmek üzere Dc-Dc düşürücüye bağlı bulunan PLC PWM çıkış adresi |
| Tag_5 | %MD30 | 0-50cm arası tam sayı değerin reel sayı karşılığını tutan PLC adresi |
| Tag_6 | %MW20 | Yüzdeliğe çevrilmiş seviye bilgisinin 0-50cm arasına ölçeklenmiş değerini tutan PLC adresi |
| Tag_7 | %MD355 | PID blok girişinde setpoint değerini tutan PLC adresi |

**HMI Ekran**

**Şekil 14. HMI Ekran Tasarımı**

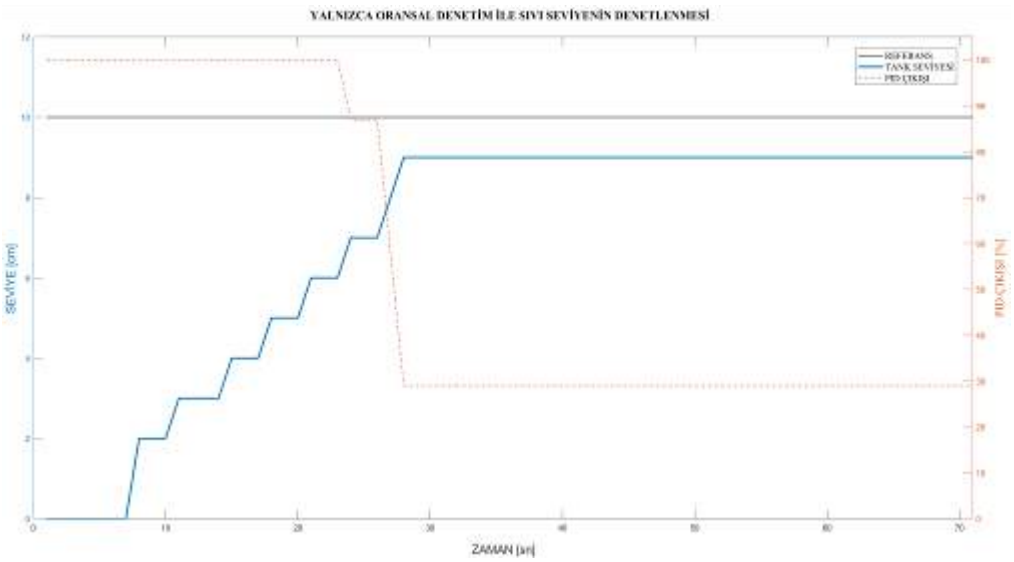
**HMI Tag Tablosu**

**Tablo 3. PLC Etiket ve Adresleri**

| Etiketler | HMI Adres | Açıklamaları |
|---|---|---|
| Tag_6 | %MW20 | HMI ekranda anlık değeri gösterilen proses çıkışını yani sıvı seviyesini tutan PLC adresi |
| Tag_7 | %MD355 | HMI ekrandan girilen setpoint değerini tutan PLC adresi |

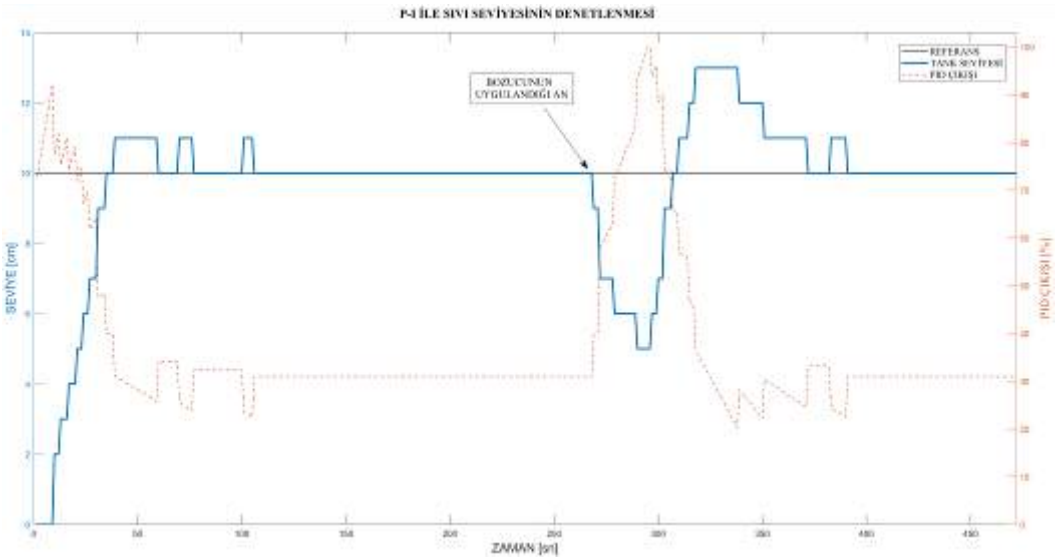
## BULGULAR

Gerçeklenen sistemde ticari bir manyetik sıvı seviye sensörü kullanılmıştır. Kullanılan sensör, seviye bilgisini ±1 cm hassasiyet ile algılamaktadır. Bu sapma sistemin denetimini de zorlaştırmaktadır. Denetim başarımının artması için daha hassas manyetik sıvı seviye sensörleri ya da ultrasonik sensörler kullanılabilir. Şekil 4'te paylaşılan düzenekteki tank sıvı seviyesi PLC aracılığıyla PID denetim yöntemi kullanılarak denetlenmiştir. Öncelikle sistemin yalnızca oransal denetim kullanıldığındaki davranışı incelenmiştir. PID denetleyicinin integral elemanı sabiti ve türev elemanı sabiti sıfır iken, oransal eleman sabitine 29 değeri verilmiştir. Tank tamamen boş iken 10 cm referans değeri HMI ekrandan girilmiştir. Sistem çıkışına ait grafik Şekil 15'de paylaşılmıştır. Beklendiği üzere yalnızca oransal denetim kullanıldığında sistemde kalıcı hal hatası oluşmuştur. Bu hatayı ortadan kaldırabilmek için denetleyiciye integral elemanı da eklenmiştir.



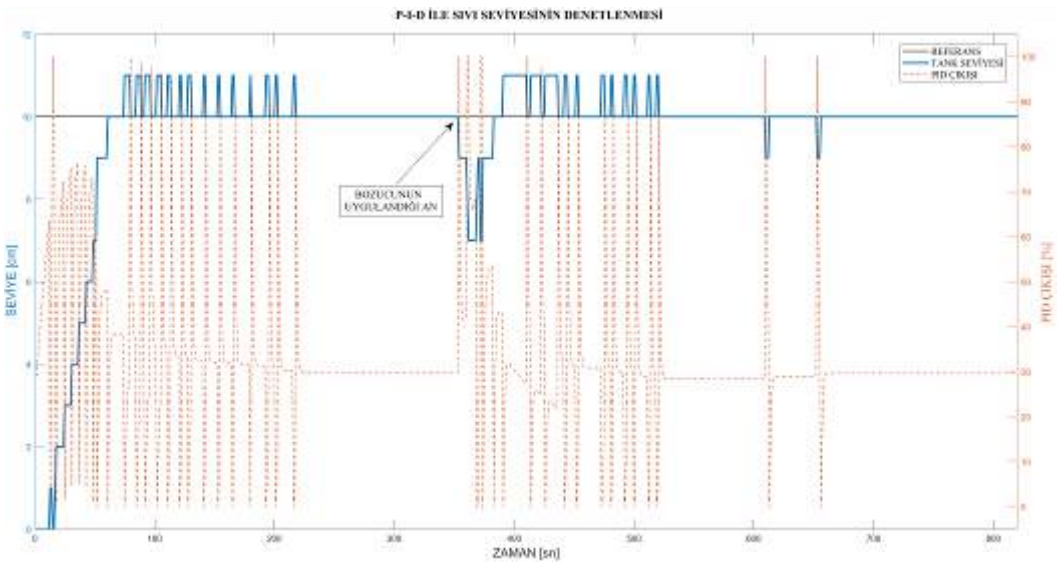

**Şekil 15. Yalnızca Oransal Denetim Kullanıldığında Sistem Davranışı ($K_P$ = 29)**

Oransal eleman katsayısı 8,47 ve integral eleman katsayısı 31,12 yapılmıştır. Denetleyici parametreleri PLC'deki otomatik katsayı ayarı aracı (auto-tuning) ile bulunmuştur. Tank tamamen boşken HMI üzerinden referans değeri 10 cm girilmiştir. Sistem davranışı kaydedilmiştir ve Şekil 16'da paylaşılmıştır. Şekilde de görüldüğü üzere yalnızca oransal denetim kullanıldığında ortaya çıkan kalıcı durum hatası ortadan kaldırılmıştır. Sistemin oturma zamanı yaklaşık 50 saniyedir ve aşım %10 altındadır. Yaklaşık 270. saniyede boşaltma vanası açılarak sisteme bozucu uygulanmıştır. Sistem bozucunun neden olduğu tepkiyi yaklaşık 100 saniyede ortadan kaldırmıştır ve sistem 10 cm'ye oturmuştur. Sistemde kullanılan sensörün hassasiyeti nedeniyle seviye ±1 cm hata ile okunabilmektedir.




**Şekil 16. P-I Denetim Kullanıldığında Sistem Davranışı ($K_P$ = 8,47 ; $K_I$ =31,12)**

Son olarak denetleyiciye türev elemanı da eklenmiştir ve P-I-D denetimi gerçekleştirilmiştir. Tank tamamen boşken HMI ekrandan 10 cm referans değer girilmiştir. Denetleyici katsayıları otomatik katsayı ayarı ile bulunmuştur. Oransal eleman sabiti 10, integral eleman sabiti 32,4 ve türev eleman sabiti 8,2 olarak verilmiştir. Şekil 17'de denetime ait sonuçlar paylaşılmıştır. Şekilde de görüldüğü üzere P-I-D denetimde denetleyici çıkışı, referans değerin altına ve üstüne geçtiğinde denetleyici büyük tepkiler vermektedir. Bunun nedeni sisteme eklenen türev elemanının ani hata değişimlerine gösterdiği tepkilerdir. Sistem oturduktan sonra sensör hassasiyetinin düşüklüğü nedeniyle seviyedeki ufak değişimler de türev elemanının tepkisinin artmasına neden olmaktadır. Sistem yaklaşık olarak 60 saniyede oturmuştur ve aşım %10 altında kalmıştır. 360. Saniyede sisteme bozucu uygulanmıştır. Denetleyici bozucunun etkisini yaklaşık olarak 50 saniyede ortadan kaldırmıştır.




**Şekil 17. P-I-D Denetim Kullanıldığında Sistem Davranışı ($K_P$ =10 ; $K_I$ =32,4 ; $K_D$ =8,2)**

## SONUÇ

Bu çalışmada ile endüstride ve ticari ürünlerde sıkça kullanılan sıvı seviye denetiminin, Elektrik-Elektronik, Makine, Kontrol ve Mekatronik Mühendisliği öğrencileri tarafından daha iyi kavranması ve gerçeklenmesi için bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Tasarlanan düzenek geliştirilmeye müsaittir. Öğrenciler bu düzenek üzerinde geri besleme, bozucu etkileri, ölçüm gürültüleri, PLC kullanma ve programlama, PID denetimi, endüstriyel sensörler, motor sürücüleri gibi pek çok değerli kontrol mühendisliği konusu hakkında fikir edinmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, iş hayatlarında kontrol alanında çalışacak öğrencilerin endüstride karşılaşılan bu prosese aşina olması ve seviye denetim yöntemleri hakkında fikir sahibi olmaları olduğundan, çalışma sonuçları tatmin edicidir. Uygulamanın, uygulamayı gerçekleştiren öğrencilerin Kontrol Mühendisliği için cesaretlendirilmesi ve özendirilmesinde etkili olduğu görülmüştür.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmektedir

(PYO.MUH.1906.17.002).

## ÖNERİLER

Bu çalışma daha hassas manyetik sıvı sensörü, ultrasonik sensör ya da radar ile aynı denetleyici kullanılarak tekrarlanabilir. Böylece sistem denetiminin daha iyi gerçekleştiği görülebilir. Ayrıca çalışmada kullanılan PID denetleyicisinin yanında bulanık mantık gibi daha gelişmiş denetim yöntemleri kullanılabilir ve karşılaştırması yapılabilir.

## KAYNAKLAR

Adiyan, A. (2012). *Sıvı seviye kontrolü için SCADA sistem tasarımı* (Master's thesis). Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

Aström K.J. & Hagglund T. (2006). *Advanced PID control* (2nd ed.). Connecticut, USA: ISA Publication.

Bu, B., Li, C., & Chen, M. (2016). Based on PLC fuzzy control algorithm in the application of level control. In *Proceedings - 2016 IEEE International Symposium on Computer, Consumer and Control, IS3C 2016* (pp. 698–701). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. https://doi.org/10.1109/IS3C.2016.179

Dandan, Z., Zhiyun, Z., Meng, Y., Yue, H., & Chen, G. (2015). Application of relay feedback auto-tuning algorithm in a liquid level PID control system. In *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)* (Vol. 2015-March, pp. 4313–4315). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. https://doi.org/10.1109/WCICA.2014.7053438

Erdemir, G. (2016). *Kaskat bağlı sıvı seviye akış sisteminin web tabanlı gerçek zamanda zeki kontrolü* (Master's thesis). Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Kent Ridge Instruments. (2007, May 31). *Coupled-tank control apparatus.* Retrieved from http://www.kri.com.sg/ctank.html

Milli Eğitim Bakanlığı. (2009). *Endüstriyel otomasyon teknolojileri - seviye ölçümü.* Retrieved from http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Seviye%20%C3%96l%C3%A7%C3%BCm%C3%BC.pdf

Popescu, M. (2019). Comparative Study of PID and Fuzzy Level Control using Delta v Distributed System. In *Proceedings of the 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, ECAI 2018*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. https://doi.org/10.1109/ECAI.2018.8679011

Şahbazlı, R. (2017). *Su tanklarında sıvı seviye kontrol sisteminin geliştirilmesi* (Master's thesis). Retrieved from https://adudspace.adu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11607/3217/Rufet%20SAHBAZLI.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ulu, C. (2010). MATLAB tabanlı sıvı seviye denetim sistemi tasarımı (Master's thesis). Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye.

# HEAT TRANSFER AND VARIABLE SPECIFIC HEATS OF WORKING FLUID IN OTTO CYCLE

Okan OZER, Department of Engineering Physics, Engineering Faculty, University of Gaziantep, 27310, Gaziantep-TURKEY, ozer@gantep.edu.tr

**ABSTRACT**: An analyze of an air-standard Otto cycle with variable specific heats of working fluid and the heat transfer loss is studied in the framework of finite-time thermodynamics. The relations among the power output, the thermal efficiency and the compression ratio are presented numerically and graphically. The effects of variable specific heats of working fluid and the heat transfer loss on the cycle performance are presented. A brief conclusion is presented.

**Key words:** Otto cycle, Heat transfer, Variable specific heat.

# ANALYSIS OF EFFECTS OF DYNAMIC TIME OF USE PROGRAM ON INDUSTRIAL ELECTRICITY CONSUMPTION

Nurettin BEŞLİ

Harran University, Şanlıurfa, Turkey, nbesli@harran.edu.tr

Nusret MUTLU

Southeastern Anatolia Project Regional Development Administration, Şanlıurfa, Turkey, nmutlu@gap.gov.tr

Yilmaz DAGTEKİN

Harran University, Şanlıurfa, Turkey, yilmazdagtekin@hotmail.com

**ABSTRACT**: Serious problems in energy supply security have brought the concept of demand side management to the forefront. An important component of demand side management is Demand Response(DR). Time of Use(ToU) program is a basic price-based DR program that is also used in Turkey. The more precise form of ToU program is Dynamic Time of Use(dToU) program. This article aims to develop a method for implementing ToU and dToU programs on industrial energy consumption. For this purpose, three industrial users with different load curves and price elasticity matrix are selected. These users represent the three sectors with the highest energy consumption in Sanliurfa Organized Industrial Zone. On these users, ToU and dToU programs were applied for four selected representative days with the help of a MATLAB code. The price advantage results of dToU and ToU programs obtained from this analysis are compared.

**Key words:** Demand response, Price elasticity matrix, Industrial energy consumption, Time of Use, Dynamic Time of Use

## INTRODUCTION

The classical electricity grid approach is based on meeting the increasing demand. In parallel with the increase in demand, new power plant and grid investments were made to meet the demand. The California energy crisis, that took place between 2000-2001 in the United States, led to a significant change in electricity market management approach. After this crisis, an approach that aims to reduce the new power plant and grid investments by reflecting the risks of fluctuations in the amount and price of electricity generation on both supply and demand side was adopted. This approach

brought the concept of Demand Side Management (DSM) into prominence. DSM is basically divided into two categories as Energy Efficiency (EE) and Demand Response (DR). EE is an approach that enables efficient and effective use of energy on the user side. DR, on the other hand, is an approach aimed at balancing the electricity supply and demand by taking into account all the parties of the electricity market (supply side, demand side and transmission network etc.)(Salman 2017). The most important tool for DR implementation is the advanced metering infrastructure that provides bidirectional communication of the supply and demand side of the network(Commision 2008).

Privatization of distribution companies and establishment of the Turkish Energy Markets Operations Company (EPİAŞ) are important steps for liberalization of the Turkey's electricity market. Establishment of day ahead market and intraday market accelerated the liberalization on the supply side. These developments have created an important infrastructure for DR implementation(Beşli and Dağtekin 2015). The implementation of DR programs in Turkey is still very new. Although there are several studies on the basis of individual customers, the expected progress on the basis of customer groups has not been achieved yet(Vingerhoets, Schmitt et al. 2016). Turkey Ministry of Energy and Natural Resources, has set the goal of ensuring the participation of at least 40% of all electricity consumers to DR programs by year 2035(EPDK 2018).

Deciding which DR program to implement depends on user type and behavior. Although load shifting and load shedding are much easier for domestic and commercial users, it is not easy to bring together and manage consumers in a number and power that can affect the grid. For industrial consumers, load shedding and load shifting operations are more difficult and limited in percentage than domestic and commercial consumers. However, it is clear that for a small number of industrial consumers the effect of very low percentages of load shedding or load shifting will have much greater impact on the grid. For example, 50% price advantage can be achieved with ToU application in metal industry(Shoreh, Siano et al. 2016). How industrial consumers can be classified and how they will participate in DR programs are important questions that have been tried to be solved in recent years.

Time of Use(ToU) program is the most basic form of price-based programs. ToU tariff includes 3 usage zones during the day. These are off-peak, mid-Peak use and on-peak times. ToU program is also used for many years in Turkey. However, it is not a healthy approach to keep time zones constant throughout the year. In the Dynamic Time of Use (dToU) program, peak, mid-peak use and off-peak times vary depending on the change in peak usage during certain time periods of the year. The dToU program is a DR program implemented in various countries(Azman, Abdullah et al. 2017). In the dToU program, one day can also be divided into half-hour segments. Thus, it is more sensitive to reflect peak time prices to consumers(Wang and Li 2015).

The DR application tries to enable the consumer to regulate the load curve through load shift, load shedding, incentive and penalty payment methods. In this way, the energy consumed during peak hours is reduced, thus contributing to the reliability of the electricity supply. There are many researches on the implementation of DR programs for industrial users. Algorithms have been developed to program loads in accordance with ToU program(Q., D. et al. 2013). In order to analyze the effects of clustered users on the network, logarithmic, exponential and linear modeling was applied to the grid model by applying various scenarios(Aalami, Parsa Moghaddam et al. 2015). Methodologies have been developed to find a consumer baseline curve for DR implementation in clustered users with similar load curves(Song, Li et al. 2018).

In this study, it is aimed to reveal the price advantage of ToU and dToU programs on electricity bills of industry users with similar load curve. With this study, it has been tried to contribute to the search for a collective model for the implementation of DR programs for industrial users. In this study, three users' load curves have been selected that represent the three sectors with the highest energy consumption in Şanlıurfa Organized Industrial Zone. ToU and dToU programs were applied to users with the help of a MATLAB code by selecting four representative days in the selected year. As a result of the analysis, annual saving rates on the electricity bills of the users were compared. It has been tried to develop a common model for the implementation of these DR programs to industrial users.

*PROBLEM FORMULATION*

**Price Elasticity Model For DR Implementation**

Electricity is a commodity that can be priced according to time zones during the day. In this respect, the change in price over time can be defined by the price elasticity model, which is a basic economic definition(Qu, Hui et al. 2018). The basic formula of price elasticity is:

$$E = \frac{P_0}{D_0} \cdot \frac{\Delta D}{\Delta P} \qquad (1)$$

Here;

$P_o$: Indicates the base price.

$D_o$: Indicates the base demand.

$\Delta P$: Indicates the change in price.

$\Delta D$: Indicates the change in demand.

A Price Elasticity Matrix (PEM) is created that represents the behavior of consumption in each time zone relative to the price change to consumption in another time zone. PEM is a 24x24 matrix(Gutiérrez-Alcaraz, Tovar-Hernández et al. 2016). The elasticity coefficients in the diagonals of PEM represent self-elasticity and shows the effect of price change on demand in the same time zone. The self-elasticity coefficient formula is as follows:

$$E_{i,i} = \frac{P_0}{D_0} \cdot \frac{\Delta D(t_i)}{\Delta P(t_i)} \quad (2)$$

Elasticity coefficients in other parts of PEM represent cross-elasticity and show the effect of price change in another time zone on demand. The cross-elasticity coefficient formula is as follows:

$$E_{i,j} = \frac{P_0}{D_0} \cdot \frac{\Delta D(t_i)}{\Delta P(t_j)} \quad (3)$$

Since the price increase in the same time zone will affect demand negatively, the self-elasticity coefficient is always negative. The cross-elasticity coefficient is zero or positive, as price increases in another time zone will reduce demand. PEM matrix and base consumption curve must be calculated accurately in order to accurately calculate a consumer's response to the DR program.

**Economic Model For DR Implementation**

Various economic models have been developed to calculate the economic benefit to the consumer through the implementation of DR programs. In this study, the economic model presented in (Mohajeryami, Schwarz et al. 2015), rearranged according to different representative load curves and ToU and dToU program scenarios. The hourly demand for a user can be calculated as follows:

$$d(i) = d_0(i) \cdot \left\lfloor 1 + \frac{E(i) \cdot \left(p(i) - p_0(i) + \lambda \cdot R(i)\right)}{p_0(i)} \right\rfloor \quad (4)$$

Here;

$p_o$: Indicates the base price

$d_o$: Indicates the base demand

E: Coefficient of Elasticity

λ: The coefficient representing the actual value of the symbolic reward or incentive payment.

R: Indicates the incentive payment made by the Distribution Company for every kWh demand reduction.

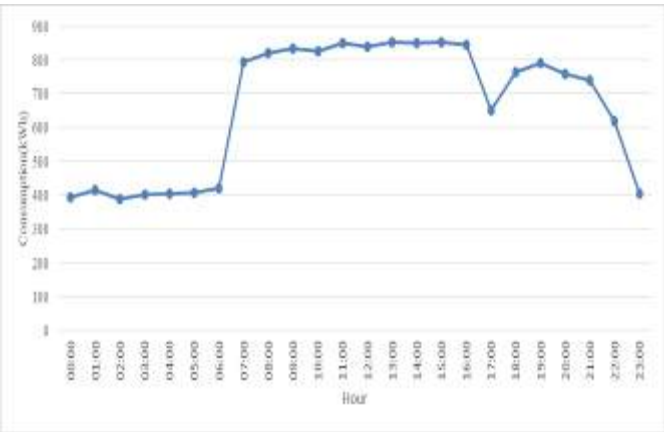
If self-elasticity and cross-elasticity parameters are added in this model, considering incentive payment and price sensitivity, the economic model of DR program will be as follows(Mohajeryami, Schwarz et al. 2015):

$$d(i) = d_0(i) + E(i) \cdot \frac{d_0(i)}{p_0(i)} \cdot \left(p(i)\text{-}p_0(i) + \lambda \cdot R(i)\right) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{24} E(i,j) \cdot \frac{d_0(i)}{p_0(j)} \cdot \left(p(j)\text{-}p_0(i,j) + \lambda \cdot R(j)\right) \quad (5)$$

**Selection of Representative User Load Curves**

The three sectors with the highest annual energy consumption in the Sanliurfa Organized Industrial Zone are Yarn (56%), Oil-gin (17%) and Building materials-plastic pipes (14%) respectively. To represent these sectors, three representative users with different behaviors were selected for the analysis.

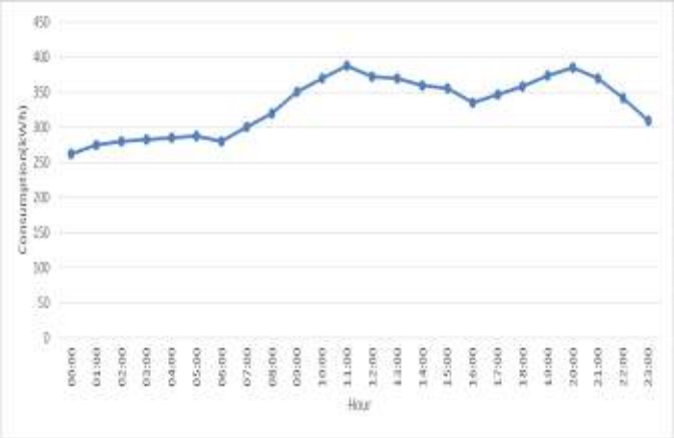
The first user (K-1), symbolizes a yarn and textile factory. Hourly electricity consumption of the plant varies between 395-854 kWh. This operation is not very keen on reducing and shifting load. The load curve and PEM of the User K-1 are shown in Fig. 1.




| | Peak | Off-Peak | Mid-Peak |
|---|---|---|---|
| **Peak** | -0.1 | 0.005 | 0.01 |
| **Off-Peak** | 0.005 | -0.1 | 0.03 |
| **Mid-Peak** | 0.01 | 0.03 | -0.1 |

**Fig. 1.** K-1's load curve and PEM

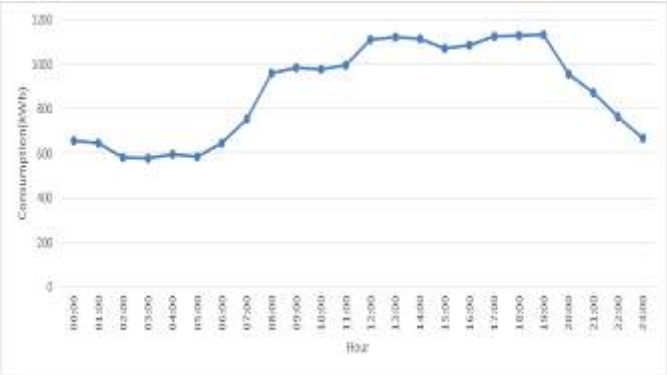
The second user (K-2) symbolizes an oil and gin factory. Hourly electricity consumption of the facility varies between 266-388 kWh. This operation is willing to reduce load and shift. The load curve and PEM of the User K-2 are shown in Fig. 2.




| | Peak | Off-Peak | Mid-Peak |
|---|---|---|---|
| **Peak** | -0.2 | 0.01 | 0.008 |
| **Off-Peak** | 0.01 | -0.2 | 0.005 |
| **Mid-Peak** | 0.008 | 0.005 | -0.2 |

**Fig. 2.** K-2's load curve and PEM

The third user(K-3) symbolizes a building materials factory. Hourly electricity consumption of the plant varies between 656-1125 kWh. This plant is very eager to reduce and shift load. The load curve and PEM of the User K-3 are given in Fig. 3.




| | Peak | Off-Peak | Mid-Peak |
|---|---|---|---|
| **Peak** | -0.3 | 0.02 | 0.009 |
| **Off-Peak** | 0.02 | -0.3 | 0.007 |
| **Mid-Peak** | 0.009 | 0.007 | -0.3 |

**Fig. 3.** K-3's load curve and PEM

**Selection of Representative Days**

In order to implement the DR program, the hourly price curve of that day needs to be known. This study represents four days in Turkey were selected by examining the electricity consumption by 2018,((TEIAS) 2018). Selected representative days (RD) and their characteristics are shown in Table 1:

**Table 1.** Selected Representative Days

| Representative Day | Definition | Date | Total Energy Consumption of Turkey (MWh) |
|---|---|---|---|
| **RD-1** | Winter Lowest Consumption | 7.10.2018 | 634.962 |
| **RD-2** | Winter Highest Consumption | 18.01.2018 | 888.033 |
| **RD-3** | Summer Lowest Consumption | 3.06.2018 | 653.851 |
| **RD-4** | Summer Highest Consumption | 3.08.2018 | 977.870 |

Then price signals have been identified for each representative day by examining Turkey's electricity consumption curve on these days. The price signal without DR is constant and assumed to be the price of mid-peak time.

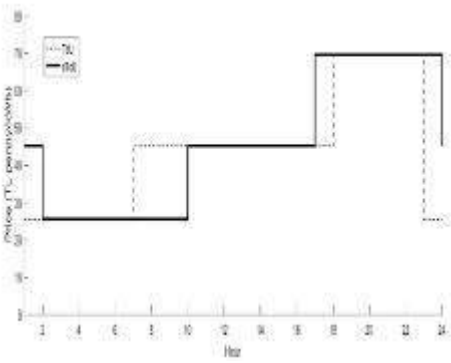


**Fig. 4.** (a) Price signal for the day RD-1

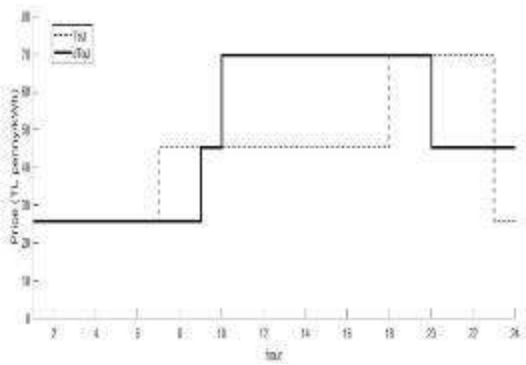


**Fig. 4.** (b) Price signal for the day RD-2

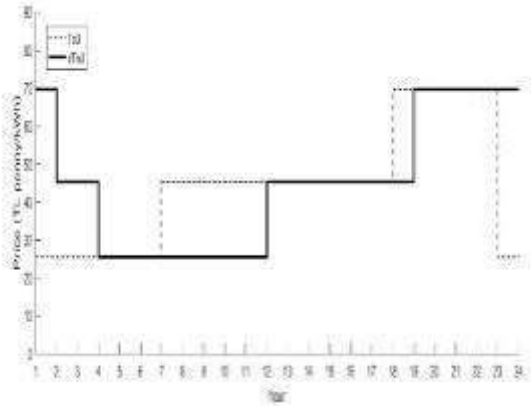


**Fig. 4.** (c) Price signal for the day RD-3

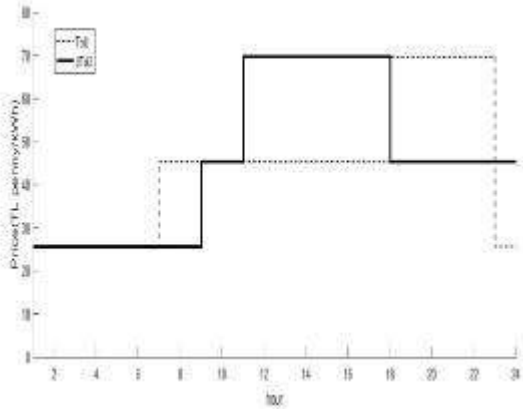


**Fig. 4.** (d) Price signal for the day RD-4

The price signal scenarios selected for each representative day were applied to three users and shown in Fig. 4. It is assumed that the distribution company makes 15.8 kr/kwh incentive payment to users for load reductions only during the peak period. However, Distribution companies or aggregators may demand program participation fee from consumers according to program size and installed power in order to participate in DR program. In the USA, the participation price is around $60-$120 per month for medium-sized industrial users(Woolf, Malone et al. 2013). Therefore, it is assumed that the program participation price of 500 TL per month for ToU tariff and 550 TL per month for dToU tariff will be paid by the user. In this study, it is also assumed that there is no production loss as a result of the use of DR.

*TEST RESULTS AND DISCUSSION*

DR programs applied to all users with the help of the code arranged according to the price signal scenarios described in the previous section. The results are shown below.

**Analysis Results for User K-1**

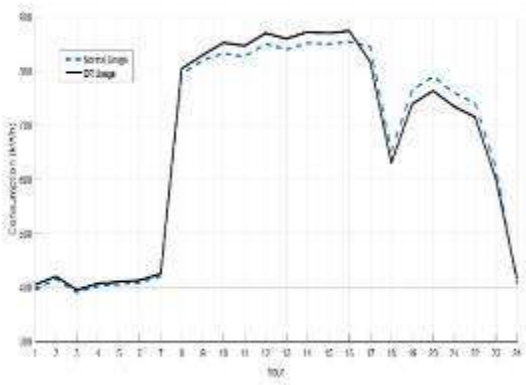


**Fig. 5.** (a) Analysis results on RD-1 day for user K-1

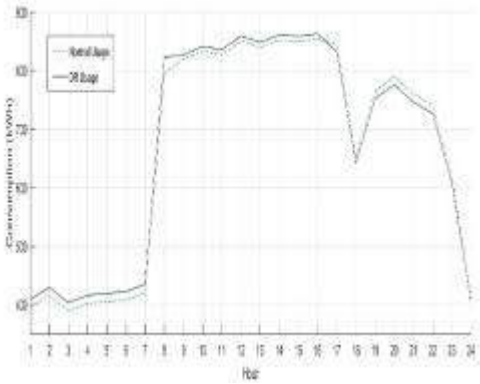


**Fig. 5.** (b) Analysis results on RD-2 day for user K-1

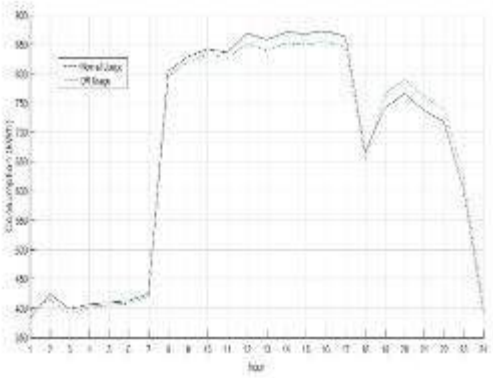


**Fig. 5.** (c) Analysis results on RD-3 day for user K-1

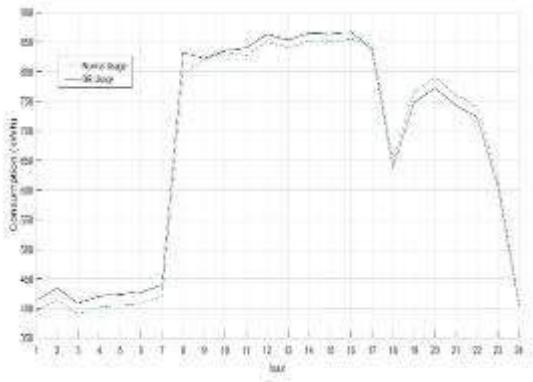


**Fig. 5.** (d) Analysis results on RD-4 day for user K-1

As seen in Fig. 5, the shape of the load curve has changed slightly since the K-1 user is not willing to shift the load. The electricity bill reduction rate of RD-3 and RD-4 is higher than RD-1 and RD-2. Accordingly, it can be said that the K-1 user reacts more to the ToU and dToU programs during the summer representative days.

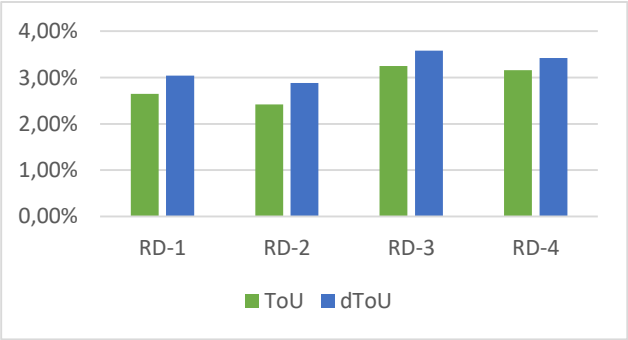



**Fig. 6.** Electricity bill reduction rates of K-1 for all RDs

Fig. 6. shows electricity bill reduction rates of K-1 for all RDs. Here, K-1 reduces electricity bills between 2.42% and 3.25% in ToU program and between 2.89% and 3.58% in dToU program. Therefore, switching from ToU to dToU is not profitable for this user.

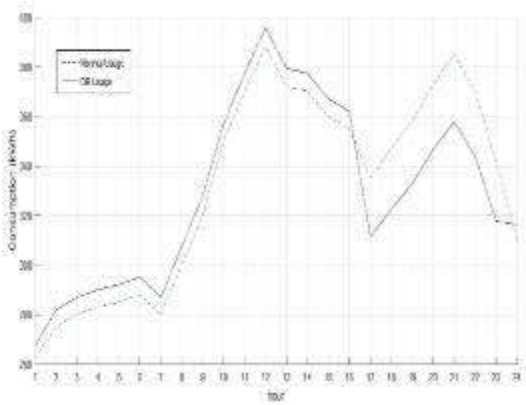


**Fig. 7.** (a) Analysis results on RD-1 day for user K-2

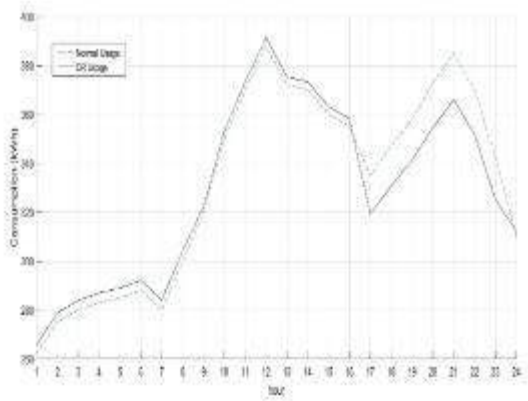


**Fig. 7.** (b) Analysis results on RD-2 day for user K-2

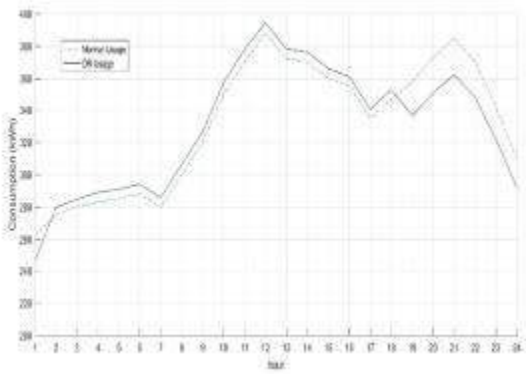


**Fig. 7.** (c) Analysis results on RD-3 day for user K-2

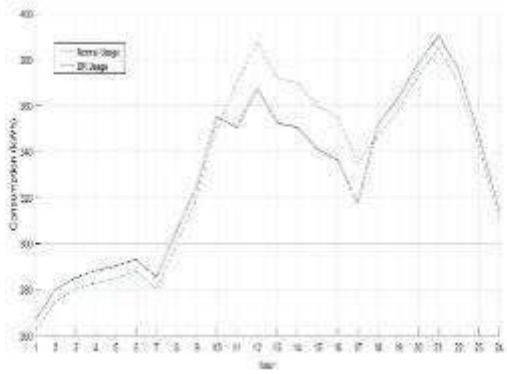


**Fig. 7.** (d) Analysis results on RD-4 day for user K-2

As shown in Fig. 7, the shape of the load curve has changed since the K-2 user is willing to shift the load. The electricity bill reduction rate in RD-2 and RD-4 is higher than RD-1 and RD-3. Accordingly, it can be said that the K-2 user reacts more to the ToU and dToU programs on summer representative days. The difference between the dToU program and the ToU program is around 2%.

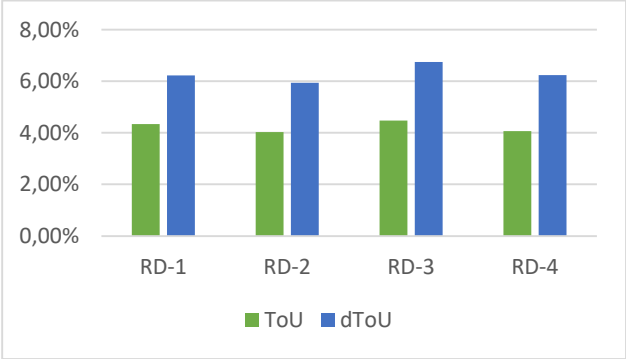



**Fig. 8.** Electricity bill reduction rates of user K-2 for all RDs

Fig. 8. shows the electricity bill reduction rates of K-2 for all RDs. Here, K-1 reduces its electricity bill between 4.04% - 4.48% in ToU program and 5.94% - 6.75% in dToU program. Therefore, switching from ToU to dToU is profitable for this user.

**Analysis Results for User K-3**

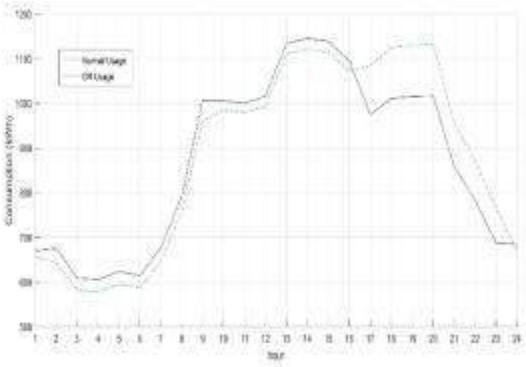


**Fig. 9.** (a) Analysis results on RD-1 day for user K-3

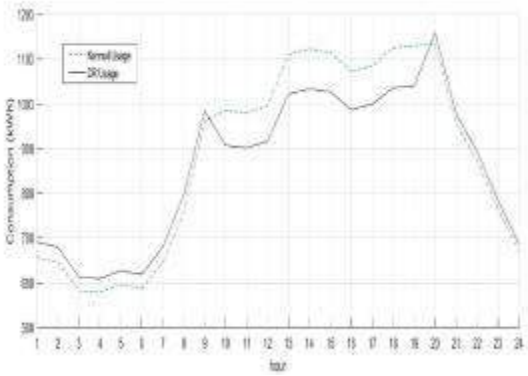


**Fig. 9.** (b) Analysis results on RD-2 day for user K-3

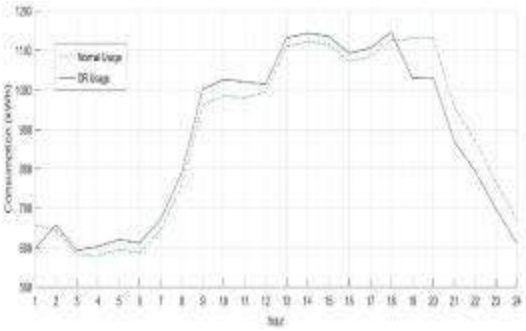


**Fig. 9.** (c) Analysis results on RD-3 day for user K-3

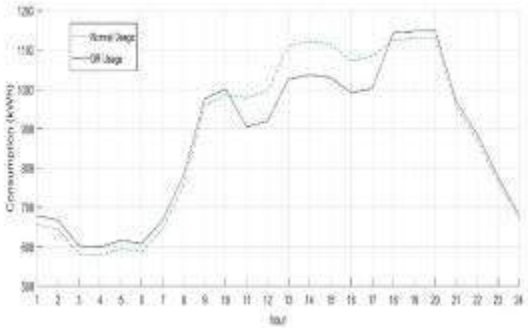


**Fig. 9.** (d) Analysis results on RD-4 day for user K-4

As seen in Fig. 9, user K-3 is very keen to shift the load, so the shape of the load curve has changed significantly. The electricity bill reduction rate in RD-2 and RD-4 was higher than RD-1 and RD-3. Accordingly, it can be said that user K-3 gives the best response to ToU and dToU programs on high energy consumption days. The difference between the dToU program and the ToU program is about 3%.

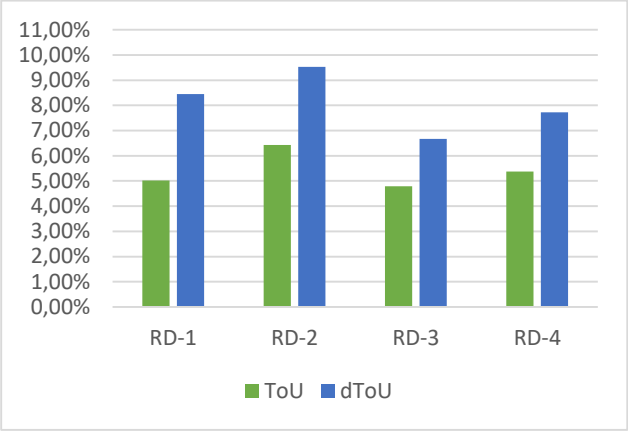



**Fig. 10.** Electricity bill reduction rates of user K-3 for all RDs

Fig. 10. shows the electricity bill reduction rates of K-3 for all RDs. Here, K-3 reduces its electricity bill between 4.79% - 6.43% in ToU and 6.68% - 9.4% in dToU. Therefore, switching from ToU to dToU is very profitable for this user.

**Comparison of All Users**

Fig. 11. shows the annual savings rates of users after deducting all expenses that explained in previous section.

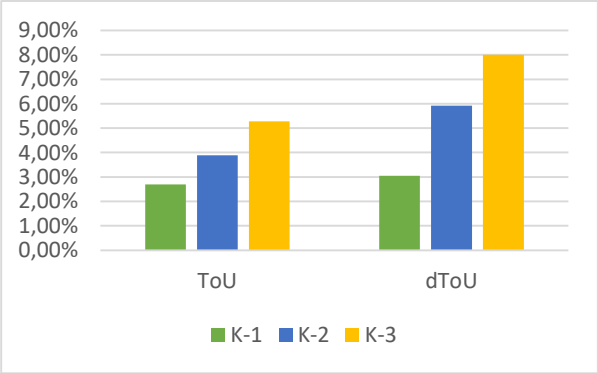



**Fig. 11.** Comparison of all users' annual electricity bill reduction rates

As shown in Fig. 11., users can reduce electricity bills between 2.70%-5.28% in ToU program and 3.05%-8.05% in dToU program implementation compared to standard pricing. In dToU program, which intervenes in the price signal very little, the amount of savings can be increased to 8% for the most demanding users. In winter and summer high energy consumption days (RD-2 and RD-4), it is seen that users provide higher reducing advantage electricity bill with DR. The main reason for this is the higher hourly energy prices on the days of high energy consumption.

*CONCLUSIONS*

DR implementation is a very important tool for balancing energy demand and ensuring system reliability. Turkey is in the process of electricity market liberalization. In the coming years, widespread implementation of DR is inevitable. In this study, the price advantage of the users transitioning to ToU and dToU programs is examined. For this purpose, three users representing the three most energy consuming sectors in Sanliurfa Organized Industrial Zone are selected. After simulating DR programs according to the load curve and the Price Elasticity Matrix of each user, an average electricity bill reduction of 5% in ToU program and 8% in dToU program annually is achieved. The annual electricity bill of Sanliurfa organized industrial zone is 151.466.550 TL and the energy consumption of these three sectors corresponds to approximately 87% of total consumption. Considering these three types of consumers as clusters, the annual cost savings can be calculated as 4.408.000 TL for ToU program and 5.809.000 TL for dToU program.

In order to implement DR more effectively in industry, industrial consumers must be clustered according to their load curves and PEMs. PEM matrices can be accurately identified by analyzing the production processes of all consumers. For this purpose, it would be more appropriate for the Energy Management Department established within Organized Industrial Zones to actively engage in these activities.

For industrial energy users, ToU and dToU programs are easier to implement and can reduce electricity bills substantially. However, the most precise DR program is Real Time Pricing. For the implementation of Real Time Pricing, advanced metering infrastructure and algorithms are required. Also, users should reach sufficient level of awareness. While further researches are carried out on the Real Time Pricing, implementation of dToU program can be the first stage for smooth transitioning to the Real Time Pricing program in Turkey. Various supporting systems such as electrical storage, heat storage, cogeneration and trigeneration systems can be also employed by users for adapting DR programs more effectively.

*ACKNOWLEDGEMENTS*

This research was partially supported by Southeastern Anatolia Project Regional Development Administration within the scope of “Utilization of Renewable Energy Sources and Increasing Energy Efficiency in South-eastern Anatolia Region Project”. The authors are thankful for supporting this research.

**REFERENCES**

Aalami, H. A., et al. (2015). "Evaluation of nonlinear models for time-based rates demand response programs." International Journal of Electrical Power & Energy Systems **65**(0): 282-290.

Azman, N. A. M., et al. (2017). "Enhanced Time of Use Electricity Pricing for Industrial Customers in Malaysia." Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science **Vol. 6**.

Beşli, N. and Y. Dağtekin (2015). Demand Response: A Way to Balance Production and Consumption of Energy for Turkey. 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering(ELECO). Bursa, TURKEY, IEEE.

Commision (2008). Advanced Metering Infrastructure. U.S.A., U.S. Department of Energy.

EPDK (2018). Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi Sonuç Raporu. Ankara, EPDK**:** 96.

Gutiérrez-Alcaraz, G., et al. (2016). "Effects of demand response programs on distribution system operation." International Journal of Electrical Power & Energy Systems **74**: 230-237.

Mohajeryami, S., et al. (2015). Including the behavioral aspects of customers in demand response model: Real time pricing versus peak time rebate. 2015 North AAmerican Power Symposium (NAPS).

Q., A. S., et al. (2013). Load scheduling with maximum demand and time of use pricing for microgrids. 2013 IEEE Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS), IEEE**:** 234-238.

Qu, X., et al. (2018). "Price elasticity matrix of demand in power system considering demand response programs." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science **121**: 052081.

Salman, S. K. (2017). Introduction to the Smart Grid: Concepts, Technologies and Evolution. U.K., The Institution of Engineering and Technology.

Shoreh, M. H., et al. (2016). "A survey of industrial applications of Demand Response." Electric Power Systems Research **141**: 31-49.

Song, T., et al. (2018). "A Cluster-Based Baseline Load Calculation Approach for Individual Industrial and Commercial Customer." Energies **12**(1).

TEIAS, T. E. T. C. (2018). "Turkey electricity production and consumption statistics." 2019, from https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf.

Vingerhoets, P., et al. (2016). Demand Response Status And Initiatives Around The World, The Global Smart Grid Federation.

Wang, Y. and L. Li (2015). "Time-of-use electricity pricing for industrial customers: A survey of U.S. utilities." Applied Energy **149**: 89-103.

Woolf, T., et al. (2013). A Framework for Evaluating the Cost-Effectiveness of Demand Response.

# COLD-BONDING METHOD IN ARTIFICIAL AGGREGATE PRODUCTION

Nihat ATMACA, Gaziantep University, Civil Engineering Department, atmaca@gantep.edu.tr

**ABSTRACT**: Agregate occupies 70-75% of the volume of concrete. It is produced artificially or found naturally inorganic granular material and used as a constructional material. Production of artificial aggregate as an alternative of natural aggregate is one of the most popular theme in construction materials literature last two decades. In production of artificial aggregate, either sintering or cold bonding methods are widely used common methods. The use of pelletized artificial aggregates as an alternative construction material in light weight concrete production is the main topic of this paper. This paper aims to summarize manufacturing processes of Light Weight Artificial Aggregate and its impacts on concrete properties.

**Key words:** pelletization, cold bonded, light weight artificial aggregate

## INTRODUCTION

Concrete is a main and most widely used material in civil engineering applications. It has serious effects on environmental pollution and energy consumption [Atmaca, N. et al., 2017]. The main constituents of concrete are cement, water, admixtures and aggregate. Agregate occupies 70-75% of the volume of concrete. It is produced artificially or found naturally inorganic granular material mostly used as a constructional material. In production of artificial aggregate, either sintering or cold bonding methods can be used. The cold bonding method process is used as to produce artificial aggregate by pelletization. Pelletization process is used to manufacture artificial lightweight coarse aggregate using fly ash and it depends on the size of particles and their distribution, the wettability of particles and moisture content, along with the process related parameters [K.I. Harikrishnan and K. Ramamurthy, 2006].

The main objective of the waste management is to reduce environmental pollution by reusing and recycling of waste materials. The usage of waste materials is a significant research area in concrete as a cement or aggregate replacement ingredient. In cold-bonding process, fly ash is used as a waste material in concrete production. Fly ash as a waste material is the byproduct of coal-fired power plants that improves cementitious properties when mixed with water and cement. Fly ash in concrete is widely used in order to increase strength of concrete, improve workability properties of fresh state of concrete and reduce water demand, shrinkage and permeability of the finished hardened state of concrete. There are two main benefits of Light Weight

Artificial Aggregate (LWAA). On one hand it gives an enhancement in concrete properties, on the other hand it has an important advantage with environmental aspect.

## COLD - BONDED AGGREGATE PRODUCTION

Pelletization is a common method of non-pressure agglomeration techniques used in LWAA production. LWAA production process has three main sections and three steps. The sections are Pelletization disc, switch board and water reservoir. Pelletization disc has an engine and a feeder apart from disk.

The three steps are as follows:

***First step*** is the mixing 90% of Fly ash class (F) with 10% of Portland Cement by weight though moisturing by water spraying (by using 18-20% of total binder weight). The process will continue for 10 min at ambient temperature in a pelletization disc with a diameter of 800 mm and depth of 350 mm as seen in Fig 1.

The disc revived at a constant velocity and a slope angle in order to get a homogeneous fresh pellets. This ***second step*** will carry on to get a sufficient stiffness of fresh pellets on account of agglomeration.

***The third final step*** is the curing process for fresh pellets. It is quite important to cure the pellets in sealed plastic bags for 28 days under self-curing conditions. The curing temperature is 20 $^{o}$C and relative humidity is 70% in self-curing conditions. The hardened LWAA has been obtained at the end of the curing process.

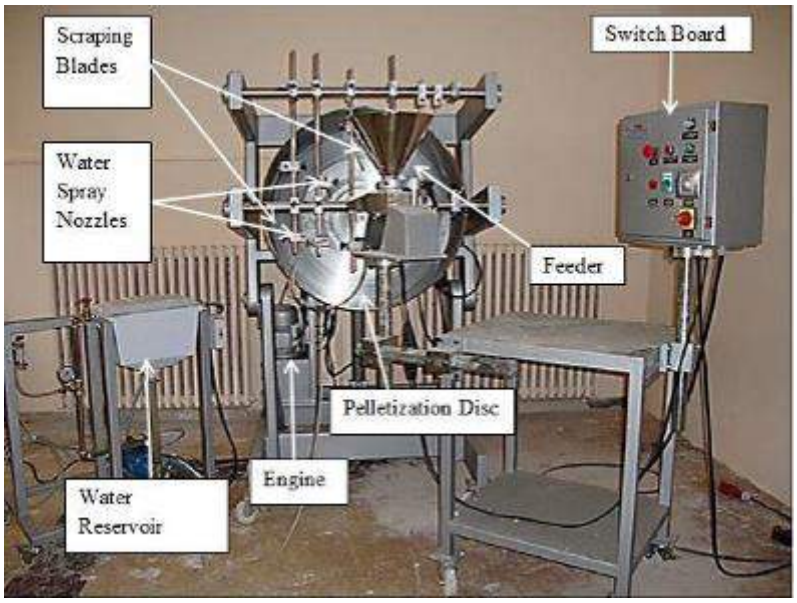



**Figure.1 Pelletization Disc and Sections**

## RAW MATERIALS USED IN LWAA CASE STUDIES

There are variety of raw materials, binders and additives used by researchers in Literature. But Fly ash is most commonly used material in cold-bonded light weight aggregate production. It is due to availability in huge amounts throughout the world as a waste material. In addition to fly ash, waste water treatment sludge, ground granulated blast furnace slag, rice husk ash and very different waste materials are used in Literature. Some special additives have also been used in many different researches in order to get specific performance requirements.

An experimental design procedure is performed by using cementitious materials and LWAA. Chemical composition and some physical properties of cementitious materials Portland Cement (PC) and Fly Ash (FA) is shown in Table 1.

**Table 1 Chemical Composition and Physical Properties of Cementitious Materials**

| Item | PC | FA |
|---|---|---|
| CaO (%) | 62.12 | 2.24 |
| $SiO_2$ (%) | 19.69 | 57.2 |
| $Al_2O_3$ (%) | 5.16 | 24.4 |
| $Fe_2O_3$ (%) | 2.88 | 7.1 |
| MgO (%) | 1.17 | 2.4 |
| $SO_3$ (%) | 2.63 | 0.29 |
| $K_2O$ (%) | 0.88 | 3.37 |
| $Na_2O$ (%) | 0.17 | 0.38 |
| Loss on ignition (%) | 2.99 | 1.52 |
| Specific gravity | 3.15 | 2.04 |
| Blaine Fineness ($m^2/kg$) | 394 | 379 |

Water absorption and specific gravity for LWAA are found about 19.2% and 1.33g/$cm^3$ respectively, according to ASTM C 127. It is possible to apply sieve test analysis and draw gradation curves of LWAAs according to TS 802 before concrete mix design. Additionaly, the crushing strength test of LWAAs was performed as BS 812, part 110 (Fig. 2).

**Figure.2 LWAA, PC and FA samples**

## RESULTS AND FINDINGS

The compressive strength, splitting tensile strength and sorptivity tests have been applied by using LWAA as aggregate replacement material.

The compressive strength values for 28 days are given in Table 1 and Fig. 3. There is a 15% decrease in compressive strength values.

The splitting tensile strength values for 28 days are given in Table 1 and Fig. 4. There is a noticeable decrease in compressive strength values. The reduction percentage is 24%.

The sorptivity values for 28 days are given in Table 1 and Fig. 5. There is a remarkable increase in compressive strength values. The increase in sorptivity values is about 52%.

**Table 2 Test Results with respect to different percentegas of LWAAs**

| **MIX ID** | Comp.Strength 28days (MPa) | Splitting 28 days (MPa) | Sorptivity 28 days (mm/min$^{1/2}$) |
|---|---|---|---|
| **LWAA0** | 64.1 | 4.5 | 0.077 |
| **LWAA10** | 62.2 | 3.9 | 0.083 |
| **LWAA20** | 57.2 | 3.7 | 0.091 |
| **LWAA30** | 56.7 | 3.5 | 0.1064 |
| **LWAA40** | 54.1 | 3.4 | 0.1171 |

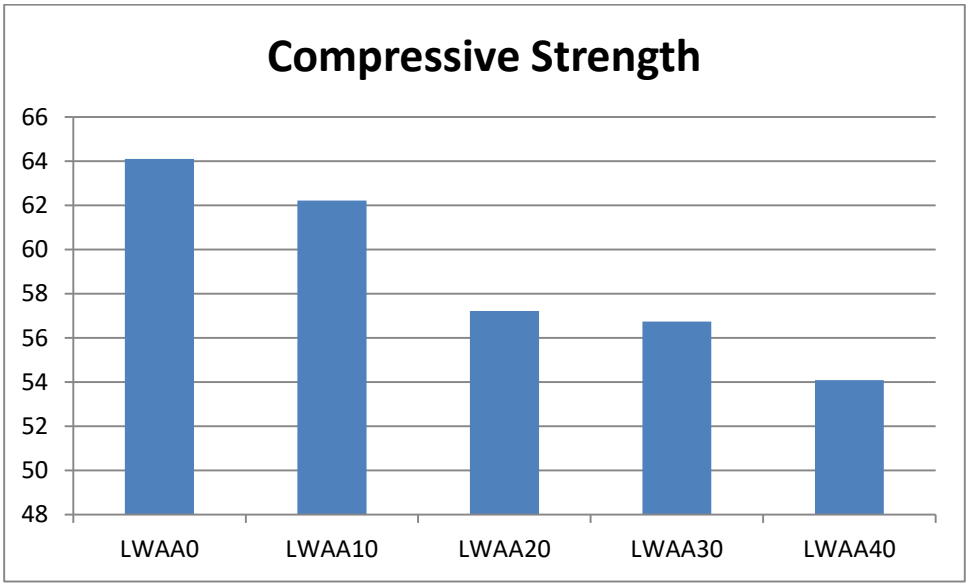


**Figure 3. Compressive Strength with LWAA**

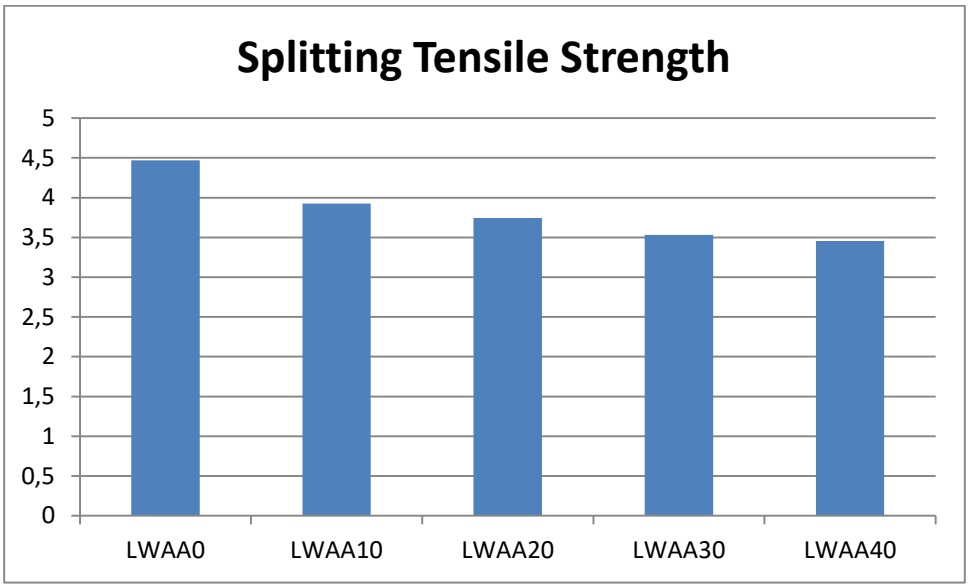



**Figure 4. Splitting Tensile Strength with LWAA**

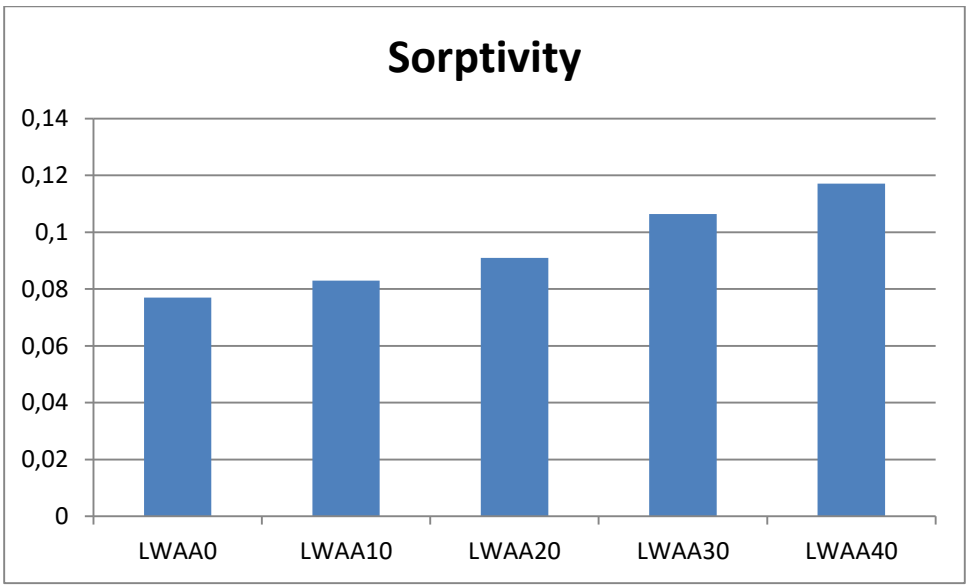



**Figure 5. Sorptivity with LWAA**

The results confirm that compressive strength and splitting tensile strength values are decreasing with an increase in LWAA ratios. However, Sorptivity increases with an increase in LWAA percentages.

There are lots of parameters that effect experimental results directly. Speed of revolution and duration of pelletization can be given as an examples of this type of parameters.

## CONCLUSION

On the bases of experimental analysis, compressive and splitting tensile strength values decreases with an increase of LWAA percentages. But there is an increasing tendency with an increasing LWAA percentages.

There are some important parameters such as angle of pelletizer disc, moisture content, speed of revolution and duration of pelletization have an influence on the pelletization of fly ash aggregates. The relative influence of the factors given above and their interaction effects on the strength, water absorption and size growth of fly ash aggregates should be investigated severally.

The main conclusion that can be drawn from this study is preserving of natural sources. Saving energy consumption and converting waste materials into value-added products are also very important results of this present study.

## REFERENCES

ATMACA, N., ABBAS, M. L., & ATMACA, A. (2017). Effects of nano silica on the gas permeability durability and mechanicalproperties of high strength lightweight concrete. *Construction and Building Materials, 147*, 17–26.

ASTM C127. American Society for Testing and Materials, Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate, *Annual Book of ASTM Standard*, 2007.

Harikrishnan, K.I. and Ramamurthy, K. (2006). Influence of pelletization process on the properties of fly ash aggregates. *Waste Management, 26-8,* 846-852.

TS 802, Design of concrete mixtures, *Institute of Turkish Standards*, Ankara, 2009.

BS 812, Part 110, Methods for determination of aggregate crushing value (ACV), *British Standarts*, 1990.

# ENERGY ANALYSIS OF A SOLAR-ASSISTED HEAT PUMP DRYING SYSTEM WITH ENERGY STORAGE TANK

Hatem Hasan Ismaeel, Bardarash Technical Institute, Duhok Polytechnic University, Duhok, Iraq, bardarashi77@gmail.com

Recep Yumrutaş, Department of Mechanical Engineering, Gaziantep University, Gaziantep, Turkey, yumrutas@gantep.edu.tr

**ABSTRACT**: The drying process in the industrial applications consumes a great amount of energy. There are many types of drying applications in the industry. This study has developed the Solar-Assisted Heat Pump Drying (SAHPD) system with underground Thermal Energy Storage (TES) tank. In this study, long-term performance parameters of the new drying system are investigated. The SAHP drying system consists of a drying unit, a heat pump, flat plate solar collectors, a spherical underground TES tank to be used for corn drying. Duhamel's superposition and similarity transformation techniques for TES tank and multiple expressions for other components in an analytical model of the drying system are used. The performance parameters used as Coefficient of Performances for the heat pump (COP) and system (COPs), Specific Moisture Evaporation Rate (SMER), annual variation of water temperature in the TES tank, energy fractions for energy charging and extraction from the system. A program in MATLAB has been prepared using the expressions for the drying system in order to find its performance parameters. The results of this study reveal that the SAHPD system attains periodic operation time in 5th year onwards for 10 years of operation.

**Key words:** Heat pump drying, corn drying, energy storage, solar energy

## INTRODUCTION

The world population is increasing from day to day that makes difficult to access affordable and healthy basic foods, such as fresh and normal corn throughout the year in the World. There are many reasons for preserving of the corn during long term in many years. One of the most important reasons to store corn successfully is the moisture content. The high levels of moisture leads to storage problems including insect and fungal infestation, germination, and respiration (Mrema et al., 2011). Temperature is another major factor which affects corn wastage. From a biological perspective corn grains are active and respire during storage and in order to eliminate these problems corn drying is required (Mrema et al., 2011). Decreasing moisture levels within stored crops is requirement and is attainable via drying process for agricultural products and food (Leon et al, 2002). There are many types of drying systems which are used for food or agricultural products drying. Natural drying, heat

pump drying (Fatouh et al., 2006; Xu et al., 2016; Erbay and Hepbasli, 2014), infrared drying (Nowak and Lewicki, 2004; Wang et al., 2014; Aktaş et al., 2016), solar air heater drying (Turgut and Onur, 2000; Koyuncu, 2006; Momin et al., 2002), drying by burning of fossil fuels and solar assisted heat pump drying systems can be given as some examples for the drying systems (Naemsai et al., 2019; Wang et al., 2019).

Systems that are more efficient in drying compared to conventional ones should be used to save energy and decrease pollution. Solar assisted heat pump drying systems are more efficient than the conventional drying systems. When solar energy and heat pump are used together for food drying, performance of the system will be higher than the conventional drying systems. However, previous studies indicate that there are inadequate studies related to solar assisted heat pump drying (HPD) systems and ground source HPD systems. Mohanraj and Chandrasekar (2009) investigated chili drying via an experimental study on indirect forced convection solar dryer integrated with different sensible heat storage materials. Performance of a forced convection mixed mode solar dryer with thermal energy storage was experimentally analyzed by (Baniasadi et al., 2017). During the experiments, they found that fresh apricot slices can be dried at different working conditions. Another experimental study was conducted by (Şevik et al., 2013) using a solar assisted heat pump drying system with flat plate collectors for drying of mushroom. System coefficients performance (COP) were calculated as values in a range from 2.1 to 3.1 using experiment results. They also found SMER values between 0.26 and 0.92 kg $kW^{-1}$ $h^{-1}$. Qiu et al. (2016) performed an experimental study to obtain performance and operation mode analysis of a heat recovery and thermal storage solar-assisted heat pump drying system. They have shown that coefficient of performance of the drying system ranged from 3.21 to 3.49, and that payback periods for drying radish, pepper, and mushroom in the life span of the system were 6 years, 4 years, and 2 years, respectively.

After displayed the literature on drying system we can say the underground TES application can be used to store energy acquired from the flat plate solar collectors. The utilization of the stored energy by the heat pump in drying applications should be considered a priority due to fluctuation of fossil fuels prices, environmental impact and anticipated depletion of conventional fossil fuels. Application of the solar assisted heat pump drying system by storing of solar energy during whole year in the form of thermal energy makes the greater system thermal performance than the other types of the systems.

Due to the multiple advantages, a theoretical model for a solar assisted heat pump corn drying system with underground TES tank is developed in the present study. The drying system comprises of drying unit, solar collectors, an underground TES tank and a heat pump. Thermal analysis for each component of the drying system is obtained, and they are combined with each other to obtain a mathematical model for the new drying system. A computational model based on the mathematical model has

been developed, and a program prepared in MATLAB is executed by using different input data to find performance parameters for the drying system. These parameters are temperature of water in the TES tank, Coefficient of performance of the heat pump (COP) and system (COPs), Specific Moisture Evaporation Rate (SMER) and energy fractions.

## DESCRIPTION OF THE DRYING SYSTEM

The corn drying system under study is an environment friendly drying system. Since, it uses great amount of its energy from solar energy charged in the TES tank. The scheme of the drying system is shown in Fig.1. The system consists of four main parts which are corn dryer unit, a heat pump, flat plate solar collectors and an underground TES tank. The system is considered to be installed in Gaziantep (37.1 $^{o}$N), Turkey.

The most important part of the drying system is dryer unit. Since drying evaporating of water in the corn is performed in the drier unit. Wet product enters to the drier unit from the top of it, and moves slowly towards to bottom of the drier. At the same time, fresh air comes to heating channel, and it is heated by the condenser. The hot air is pumped by a fan from bottom of the drier unit, and moves toward top of the unit by contacting to the product. During this process, water in the product is evaporated, and exit to outside with the air.

Heat pump is another essential part of the drying system. It works as a heat transformer from the TES tank to the drier unit. Ground source heat pumps (GSHP) are much more efficient than the air source heat pumps. Therefore, the GSHP coupled with the TES tank supplies higher energy for less temperature fluctuations. Heat is absorbed from the water in the TES tank by the refrigerant flow through evaporator of the heat pump cycle. The energy extracted and transferred by the compressor is rejected from the condenser of the heat pump to the drying air. The heat pump operates in order to correspond heating requirement of the corn and evaporating of the water present in the corn during all times of year.

Flat plate solar collectors are considered to be used in the drying system. They absorb solar energy, and charge it to the TES tank throughout the entire year. They operate when they exposed to useful solar energy. Otherwise, water in the cycle between collectors and the TES tank will not be circulated.

The TES tank is heart of the drying system. Spherical tank is considered to store solar energy as a sensible heat in the water presented as a storage medium in the tank, and buried under the ground. It stores solar energy by circulating water between collectors and the tank during all seasons, and gives the stored energy to the drying unit during whole year by using the heat pump. Bigger volume is necessary for long term storage

of energy so that much more solar energy can be stored, and to get benefit from it particularly in low temperatures. Therefore, large scale TES tank is used to collect more solar heat needed for corn drying process.

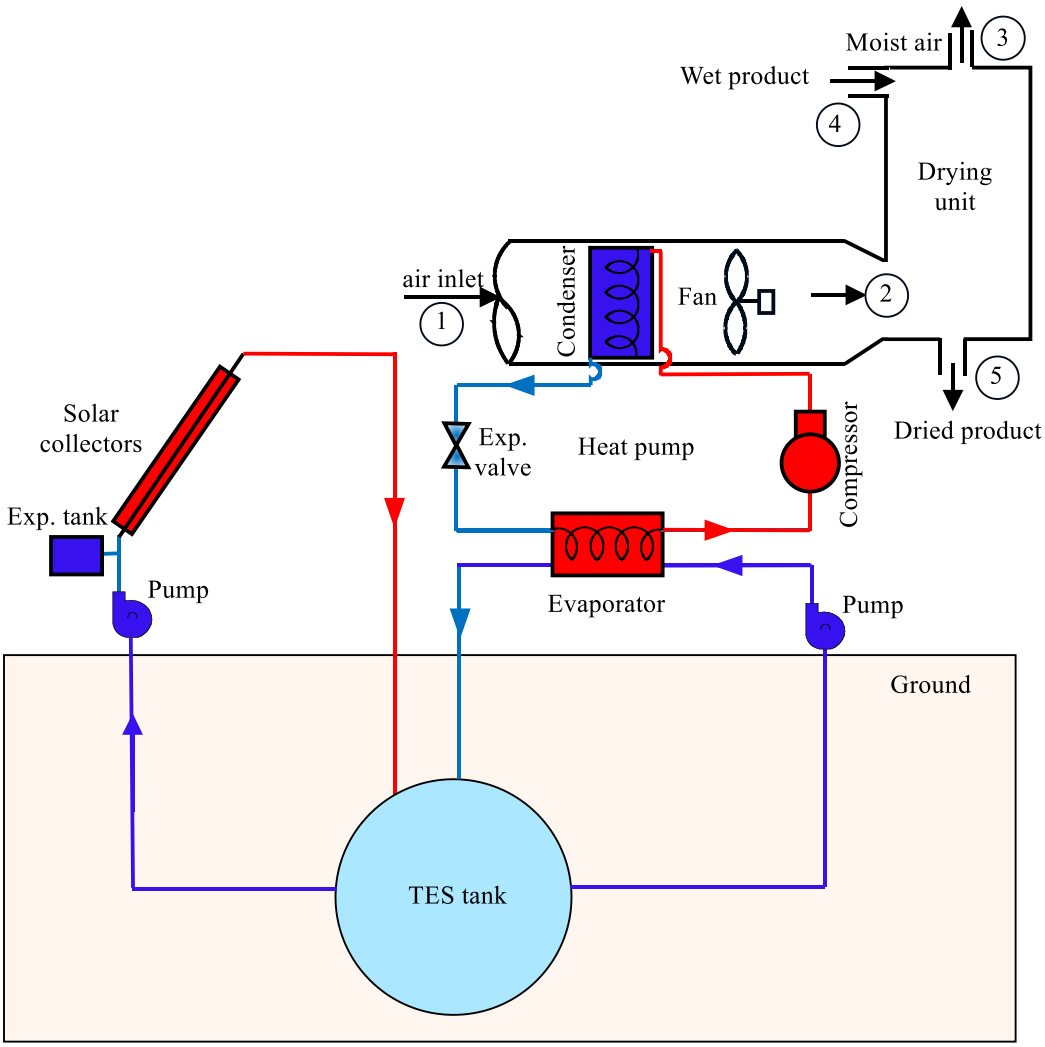



**Figure 1. Schematic of the drying system with underground TES tank.**

## SYSTEM MODELING

Energy expressions or energy model for each component of the system is defined to obtain mathematical modeling of the drying system. These models are for the drying unit, ground coupled heat pump, underground TES tank, and solar collectors. Mathematical modeling will be obtained by combining these expressions. In this section, the expressions will be given in detail.

**Energy requirement of the dryer unit**

The dryer unit is used to evaporate moisture from wet corn, which is shown in Fig. 1. There are four main interactions in the drying unit; influx of drying air from condenser to drying chamber, exit of moist air after evaporation of moisture from the drying unit, input of wet corn from top of the dryer and output of dried corn with moisture lowered to the desired level.

Mass and energy balances may be formulated for the dryer unit by using as control volume. Mass balances for the dryer unit may be expressed for product or corn, dry air and water as:

$\dot{m}_{p_4} = \dot{m}_{p_5} = \dot{m}_p$ for the product and $\dot{m}_{a_2} = \dot{m}_{a_3} = \dot{m}_a$ for the air

$$\omega_2 \dot{m}_a + \dot{m}_{w_4} = \omega_3 \dot{m}_a + \dot{m}_{w_5} \text{ for the water} \quad (1)$$

or Eq. (1) can be rearranged as follows:

$$\dot{m}_w = \dot{m}_{w_4} - \dot{m}_{w_5} = \dot{m}_a(\omega_3 - \omega_2) \quad (2)$$

The dryer unit is assumed to be insulated. Under this assumption, an energy balance may be expressed for the drying chamber as follows:

$$\dot{m}_a h_2 + \dot{m}_p h_{p_4} + \dot{m}_{w_4} h_{w_4} = \dot{m}_a h_3 + \dot{m}_p h_{p_5} + \dot{m}_{w_5} h_{w_5} \quad (3)$$

Where $\dot{m}_w$, $\dot{m}_{w_4}$, $\dot{m}_{w_5}$, and $\omega$ are mass flow rate for evaporated water from the product, mass flow rate of water in the product at state 4, mass flow rate of water in the product at state 5, and humidity ratio respectively.

The enthalpy of the moist air is equal to total individual partial enthalpies of the dry air and water vapor. Thus, the moist air enthalpy may be formulated (ASHRAE, 1997) as:

$$h = h_a + \omega h_g \quad (4)$$

Where $h_g$ refers to the specific enthalpy of saturated water vapor, and $h_a$ refers to the specific enthalpy of dry air at the mixture temperature. The specific enthalpy of the dry air is**:**

$$h_a = C_{p_a} T_{mo} \quad (5)$$

The enthalpy of the moist air may be given as the following (Alves-Filho, 2015).

$$h = 1.006\, T_{mo} + (2501 + 1.86\, T_d)\omega \quad (6)$$

Where $T_d$ is dry-bulb temperature of the moist air. The specific enthalpy of the product or corn in the energy balance may be written as below:

$$(h_{p_5} - h_{p_4}) = C_{p\ wheat}(T_5 - T_4) \quad (7)$$

Therefore Eq. (3) can be written as following expression:

$$\dot{m}_a(h_2\text{-}h_3) = \dot{m}_p\, C_{p\,wheat}(T_5\text{-}T_4) + \dot{Q}_{evap} \quad (8)$$

Heat transfer caused by phase change is:

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_w\, h_{fg} \quad (9)$$

Where $h_{fg}$ refers to latent heat of vaporization of water at the average temperature, $T_{av} = (T_4 + T_5)/2$, $\dot{m}_w$ is mass flow rate for evaporated water from moist corn, $\dot{m}_p$ is mass flow rate for dry corn, $T_4$ and $T_5$ are corn temperatures before and after drying process respectively.

The offered specific heat of corn by (Kazarian and Hall, 1962).

$$C_{p_{wheat}} = 1465 + 3560\left(\frac{M_P}{1+M_P}\right) \quad (10)$$

Where, $M_p$ refers to moisture content of corn on a dry basis (kg water/kg solid), and $M_P = (\frac{W_4\text{-}W_5}{W_5})$. $W_4$ refers to pre-drying weight, $W_5$ refers to post-drying weight. Another equation is used to find the weight of the material after drying process as follows (Mrema et al., 2011)**:**

$$W_5 = W_4\text{-}\left[W_4\,\frac{(MC_4\text{-}MC_5)}{100\text{-}MC_5}\right] \quad (11)$$

Where $MC_4$ and $MC_5$ are moisture contents on wet basis of the product at states 4 and 5, respectively.

**Power requirement of the fan**

Fresh air is firstly is taken from atmosphere by a fan, and it is heated by the condenser of the heat pump, then sent to the dryer unit to evaporate water from the moist corn. The fan is necessary for this operation. Pressure loss should be firstly calculated to find energy requirement of the fan. For that reason, pressure loss of air flowed over an air-cooled condenser is calculated. The heat exchanger geometry is given in Table 1 and used for condenser design. By neglecting entrance and exit losses, the pressure drop across the condenser for air side is computed (Kays and London, 1984)

$$\Delta P = G^2 \cdot \frac{v_1}{2}\left[(1+\sigma^2)\left(\frac{v_2}{v_1}\text{-}1\right) + f \cdot \frac{A_o}{A_c} \cdot \frac{v_m}{v_1}\right] \quad (12)$$

Where $v_1$ and $v_2$ are specific volumes of air before and after drying respectively, $v_m$ is average specific volume for air, $j_H$ and St are Calburn factor, and Stanton number respectively. f is estimated from a figure adopted by (Kays and London, 1984). f is used to find the air side pressure drop for the compact tube-fin heat exchanger. The hourly power input to the fan for the air cooled condenser can be calculated by:

$$\dot{W}_{fan}(t) = \Delta P(t)\, \dot{V}_a(t) \quad (13)$$

Remaining steps and correlations for overall heat transfer coefficient and other parameters may be found in (Akers et al., 1958; Kays and London, 1984; ASHRAE, 2000; Icropera and De Witt, 2006).

**Energy demand of the heat pump**

Heat pump are device which extract heat from a source at low temperature, and transfer it to a hotter sink (ASHRAE, 1997). In the drying system, ground source heat pump extracts heat from the TES tank, and supplies the heat to cold drying air. The heat supplied by the heat pump condenser to the drying air may be expressed as a function of condenser temperature;

$$\dot{Q}_H(t) = (UA)_{he}[T_h(t)\text{-}T_c] \tag{14}$$

Where $(UA)_{he}$ and $T_h(t)$ are UA value and temperature for the condenser, and $T_c$ represents the average temperature of air entering to condenser and that is leaving condenser.

The heat absorbed by the drying air is given as;

$$\dot{Q}_H(t) = \dot{m}_a C_{p_a}[T_2\text{-}T_a(t)] \tag{15}$$

The heated air is used to dry the moist corn or to evaporate the water present in the corn. After heating the air, it is flowed through the dryer unit. Therefore, energy requirement of the dryer unit can be expressed as;

$$\dot{Q}_H(t) = \dot{m}_p\, C_{pw}\,(T_5\text{-}T_4) + \dot{m}_w\, h_{fg} \tag{16}$$

Coefficient of Performance of heat pump (COP) and system ($COP_s$), work consumption of the compressor and Specific Moisture Evaporation Rate (SMER) are very important for the heat pump drying system as they may serve as indicators for system performance. Therefore, expressions related with these parameters should be obtained. COP may be given as a function of Carnot efficiency, $\eta_c$:

$$COP = \eta_c\left(\frac{T_h(t)}{T_h(t)\text{-}T_w(t)}\right) \tag{17}$$

Then, Eqs. (14) and (15) can be combined, and solved for $T_h$, then the result of $T_h$ inserted in Eq. (17), which eventually gives:

$$COP = \eta_c\left(\frac{u(\phi_c+1)+\phi_2\text{-}\phi_a(t)}{u\phi_a+\phi_2\text{-}\phi_a(t)\text{ -}u\phi_w(t)}\right) \tag{18}$$

Where u in Eq. (18) is a parameter obtained when equating heat transfer Eq. (14) with (15), $\phi_c$, $\phi_a$, $\phi_2$ and $\phi_w$ are dimensionless average air temperatures before and after condenser, ambient air temperature, air temperature pre-dryer, and water temperature in the TES tank respectively.

$$u = \frac{(UA)_{he}}{\dot{m}_a C_{p_a}} = \frac{T_2\text{-}T_a(t)}{T_h(t)\text{-}T_c} \tag{19}$$

By using definition of COP for the heat pump, work requirement of the compressor for the heat pump is known as:

$$W_c(t) = \frac{\dot{Q}_H(t)}{COP} \tag{20}$$

When Eqs. (18) and (15) are inserted into Eq. (20), the dimensionless work for the compressor, w, will be derived as below:

$$w(\tau) = \frac{[\phi_2-\phi_a(\tau)][\,u\phi_c+\phi_2-\phi_a(\tau)\,-u\phi_w(\tau)]}{\eta_c[u(\phi_c+1)+\phi_2-\phi_a(\tau)]} \tag{21}$$

Coefficient of performance for the system can be expressed as;

$$COP_s = \frac{\dot{Q}_H(t)}{W_c(t)+W_f(t)} \tag{22}$$

For a drying system, the most suitable efficiency parameter is the Specific Moisture Evaporation Rate (SMER) (ASHRAE, 1999) that is defined as the energy needed to take away 1 kg of water (Alves-Filho, 2015). So, SMER is recorded as the heat pump dryer efficiency.

$$SMER = \frac{\dot{m}_w}{E_{in}} = \frac{\dot{m}_w}{\dot{W}_c(t)+\dot{W}_f} \tag{23}$$

Where $E_{in}$, $\dot{W}_c(t)$, and $\dot{W}_f$ are the total energy, hourly compressor work, and hourly fan power input to the ground heat pump drying system.

## Solution of TES tank problem

Storage tank is the heart of the drying system since solar energy will be stored in the TES tank, and the stored energy will be extracted and transferred to drying air in all seasons by the heat pump. At the same time, ground around the tank is used as a storage medium. Therefore, unsteady heat transfer problem around the tank should be solved to perform energy analysis for the interaction between both of solar collectors and heat pump with TES tank.

TES tank considered in this study is spherical and located in deep earth. The tank is filled with water, and fully mixed. As a result, its temperature will change with time, $T_w(t)$. Water temperature is initially assumed to be equal to the deep ground temperature $T_\infty$. It is assumed that the earth around the tank has a homogeneous structure and constant thermal properties. Schematic representations of the spherical TES tank and energy balance for the tank are shown in Figure 2.

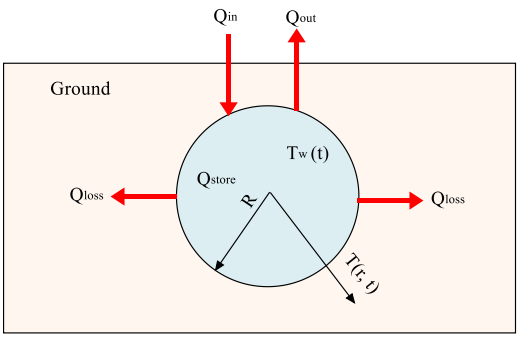



**Figure 2. Schematic of the underground TES tank problem.**

Unsteady heat transfer problem around the tank is given by a differential equation, initial and boundary conditions in the spherical coordinate system:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} \tag{24}$$

$$T(R,t) = T_w(t) \tag{25}$$

$$T(\infty,t) = T_\infty \tag{26}$$

$$T(r,0) = T_\infty \tag{27}$$

Some of the energy charged to the tank is stored in the tank as a sensible heat, and the remaining will be transferred to the surrounding earth as a conduction heat loss. The energy balance equation can be expressed as:

$$Q = \rho_w c_w V_w \frac{dT_w}{dt} - kA\frac{\partial T}{\partial r}(R,t) \tag{28}$$

Where $V_w$, $\rho_w$ and $c_w$ are volume of the water present in the tank, density and specific heat of the water in the tank. R, A and k are radius, surface area of the tank, and thermal conductivity of the surrounding earth.

The unsteady conduction heat transfer problem given by Eqs. (24-28) is transferred into dimensionless form by using dimensionless variables is presented in (Yumrutas and Ünsal, 2012). Then, dimensionless problem formulation will be obtained. All steps for the solution of the problem are given in (Yumrutas and Ünsal, 2012), therefore, only solution is presented in this section.

$$\phi_w(\tau_n) = \frac{q(\tau_n) + \left[\frac{P}{\Delta\tau} + \frac{1}{\sqrt{\pi\Delta\tau}}\right]\phi_w(\tau_{n-1}) - \sum_{i=1}^{n-2}\frac{\phi_w(\tau_{i+1}) - \phi_w(\tau_i)}{\sqrt{\pi\Delta\tau(n-i)}}}{1 + \frac{P}{\Delta\tau} + \frac{1}{\sqrt{\pi\Delta\tau}}} \tag{29}$$

Equation (29) is used to find the hourly dimensionless temperature of water in TES tank. The term $q(\tau)$ in Eq. (57) refers to the net dimensionless heat input rate to the tank [30].The input heat rate, $q(\tau)$, is the difference between dimensionless useful solar energy and energy extracted by the heat pump. It was expressed in (Yumrutas and Ünsal, 2000; Yumrutas and Ünsal, 2012) as:

$$q(\tau) = q_u(\tau) - q_H(\tau) + \frac{w(\tau)}{\gamma} \tag{30}$$

Where $q_u(\tau)$ is the dimensionless useful solar energy charge rate to the tank, $q_H$ and $w(\tau)$ are the dimensionless heat demand of the drying unit, and heat pump work, respectively, and $\gamma$ is a dimensionless parameter ($4\pi Rk/\dot{m}_a(t)\, C_{p_a}$).

**Useful solar energy collection rate to the TES tank**

Solar collectors are used to absorb solar energy and to charge it to the tank. The solar energy charge rate, $\dot{Q}_u(t)$ is calculated by using the formula given by (Duffie and Beckman, 1991);

$$\dot{Q}_u(t) = \eta_{fc}(t)\, A_{col}\, I_T(t) \tag{31}$$

Where $\eta_{fc}$ is the flat plate solar collector efficiency, and $A_{col}$ is the collector area. The collector efficiency variation with respect to dimensionless factor, $[T_w(t)-T_a(t)]/I_T(t)$ was obtained from the experimental study by Yumrutas and Kaşka (Yumrutas and Kaşka, 2004), and it is also used in the present study;

$$\eta_{fc}(t) = 0.72-6.4\left[\frac{T_w(t)-T_a(t)}{I_T(t)}\right] \quad (32)$$

Where $T_w(t)$ is the temperature of the water in the TES tank and $T_a(t)$ is the ambient air temperature. $I_T(t)$ in Eqs. (31-32) is the hourly solar radiation coming to the collector surface. Calculation procedure for finding $I_T(t)$ is given in (Duffie and Beckman, 1991).

## INPUT DATA FOR THE DRYING SYSTEM

A computer code in MATLAB has been developed for numerical calculations. In this section, main input data for finding performance parameters for the drying system are outlined. The input data are for dryer unit, heat pump, TES tank, ground around the tank, and solar collectors. The data and information for the main components of the drying system are given in the following subsections.

### Drying unit

Energy requirement of the dryer unit is necessary throughout all seasons on hourly basis. Mass flow rate of the wet corn is selected basically as 30 kg $h^{-1}$, which can be changed to find its effect on performance of the drying system. The inlet air temperature to dryer unit, $T_2$ , and outside design air temperature for Gaziantep, $T_o$, are set as 55 ℃ depending on (Sundaram, et al., 2016; KCD dryer, 2019), and -9 ℃, respectively. For design conditions, "u" value in Eq. (19) is 1.7. Ambient air temperature, $T_a(t)$, is heated up by the heat pump condenser to reach design temperature (55 $^oC$), and is blown to the dryer unit by a fan to evaporate water existing in the corn. The wet corn temperature, $T_4$, and drying corn temperature, $T_5$, are taken as 20 ℃ and 45 ℃, respectively. Moisture contents of moist corn, $MC_4$, and drying corn, $MC_5$, have been considered as 25% and 15% respectively, according (www.gov.mb.ca/agriculture, 2019). Hourly humidity ratio has been evaluated by using EES (Engineering Equation Solver) program depending on hourly ambient air temperature for Gaziantep, at atmospheric pressure, while relative humidity of 30% is taken in this study based on (Strommen, 1980; Magnussen and Strommen, 1981). Pressure drop through the drying unit is neglected since it is very low in relation to compressor work. EES program is also used to calculate hourly power input to the blower or fan.

### Heat pump

Heat is absorbed by the evaporator of the heat pump from the underground TES tank, and some amount of energy is added to the working fluid by the compressor. Heat is rejected to drying air to evaporate water in the corn. Expressions for energy requirement and COP of the heat pump are derived in previous sections. A practically reasonable Carnot efficiency (CE) value was used basically as 0.4 in the present study. Zogou and Stamatelos (1998) expressed that CE values range between 0.30 and 0.50 for small electric heat pumps, and accordingly three CE values of 0.30, 0.40 and 0.50 were taken in this study. In the present study, CE value was set at 0.4, and tank volume was set at 100 $m^3$ for all calculations unless another CE and tank volume is used.

**The TES tank and its surrounding structure**

Water in the TES tank is assumed fully mixed. Specific heat and density of the water are 4.18 kJ/kg°C, and 1000 kg/$m^3$, respectively. Temperature of the water at the beginning of operation is taken as equal to deep earth temperature of 15 $^oC$. Solar energy is charged to the water if there is useful solar energy during whole year. Some of the stored energy is absorbed by the heat pump, and some is lost to the earth surrounding the tank, and the remaining part is stored as a sensible heat in the TES tank. In this study, limestone is basically considered as an earth surrounding the tank since it is the prevalent geo-structure of Gaziantep. To investigate effect of the earth type on the performance of the system, three types of earth are considered; limestone, granite and coarse graveled. Thermophysical properties of the earths are given in (Ozisik, 1985), and illustrated in Table 2. Tank volume is selected as 100 $m^3$ in all calculations unless another volume is used.

**Solar collectors**

In this study, flat plate solar collectors are used to collect useful solar energy in TES tank. They are assumed to be directed toward the south, and their tilt angle is taken as latitude angle (37.1°N) of Gaziantep, Turkey since highest solar energy is collected when the slope angle is equal to the latitude angle for yearly operation (Elminir et al., 2006). Useful solar energy charge to the underground TES tank given by Eq. (31) is calculated by using Eqs. (32) and other equations given by (Duffie and Beckman, 1991). Hourly solar radiation values and ambient air temperatures are used in the numerical calculations. The values of the hourly solar radiation on horizontal surface and ambient air temperature were taken from Gaziantep Meteorological Station. Effect of solar energy collection rate on performance of the drying system is investigated. During the calculations of the model, collector area as an input data is set at 20 $m^2$ if another collector area is not used.

## COMPUTATION PROCEDURE FOR THE DRYING SYSTEM

In order to examine performance of corn drying system, a computation procedure is developed by using interrelated analytical models and expressions for each system component. The drying system consists of four main components; drying unit, heat pump, solar collectors and TES tank. The current drying system is a solar-assisted heat pump drying system with the TES tank. The numerical computation is prepared by using MATLAB, and is explained in this section.

The computation procedure passes through several stages. Firstly, heating load for drying unit has been calculated through Eqs. (3-9). Both hourly heating requirement of the drying unit and corn mass flow rate are considered to be constant. Secondly, since ambient air temperature changes hourly, mass or volume flow rate of the air will change. The power input required by the fan is calculated by using Eqs. (12) through (13) and others correlations which presented in (Akers et al., 1958; Kays and London, 1984; ASHRAE, 2000; Icropera and De Witt, 2006). Thirdly, hourly useful solar energy, $\dot{Q}u(t)$, is computed by using Eq. (31) in addition to Eq. (32) which is recommended by (Yumrutas and Kaşka, 2004). Collector efficiency in Eq. (32) is computed by using hourly solar radiation rates on tilted surfaces, TES tank temperature, and outside air temperature. Solar energy gain is later transformed into dimensionless form using dimensionless expressions referred to in (Yumrutaş and Ünsal, 2012). Next, new hourly water temperature in TES tank has been estimated through Eq. (29) by utilizing net energy charge rate to TES tank expressed in Eq. (30). Finally, hourly, monthly and annual values of water temperature in TES tank, COP, COPs, SMER and energy fractions have been computed. These computations were done on an hourly basis for sufficient number of years until the annual temperature distribution of the water in the TES tank reaches annually periodic operating conditions.

## RESULTS AND DISCUSSION

It is necessary to find performance parameters for the drying system in order to know whether the system within which the parameters operate are efficient or not. The performance parameters are: temperature of water in TES tank, coefficient of performance for the heat pump (COP) and system (COPs), energy ratio, and specific moisture evaporation ratio (SMER). They have been computed by executing a computer program in MATLAB and using drying system parameters such as Carnot efficiency, type of ground, collector area, and TES tank volume. In the calculations, limestone is used as a geological structure, and Carnot efficiency (CE), collector area, volume of TES tank are set as, 0.4, 20 $m^2$ and 100 $m^3$, respectively, unless other values of these input parameters are used. Results obtained from the numerical computations are presented in figures, and discussed in this section.

Each earth surrounding TES tank gives different performance parameters because of different thermophysical properties. Variation of water temperature in the TES tank is a type of performance parameter. Hence, every performance parameter depends on storage temperature. For that reason, Fig. 3 depicts the individual effects of the three selected types of ground on temperature variation of water in TES tank during fifth year of operation by using these input parameters; collector area (20 $m^2$), Carnot efficiency factor (40%), storage volume (100 $m^3$), and mass flow rate of cooked corn (30 kg $h^{-1}$). The reasons behind selecting these parameters are discussed in the following figures. It is observed from Fig. 4 that water temperatures have higher values during summer months and lower values during winter season when the TES tank is surrounded by the coarse graveled earth. But, water temperatures for granite have lower values in summer and higher values in winter. Limestone gives medium temperature values that are between coarse graveled and granite, which accordingly give medium performance parameters. Granite and coarse graveled earth types do not present widely as a geological structure around Gaziantep City, Turkey. All figures depict limestone ground since it is widely present in Gaziantep, unless another type is given in this study.

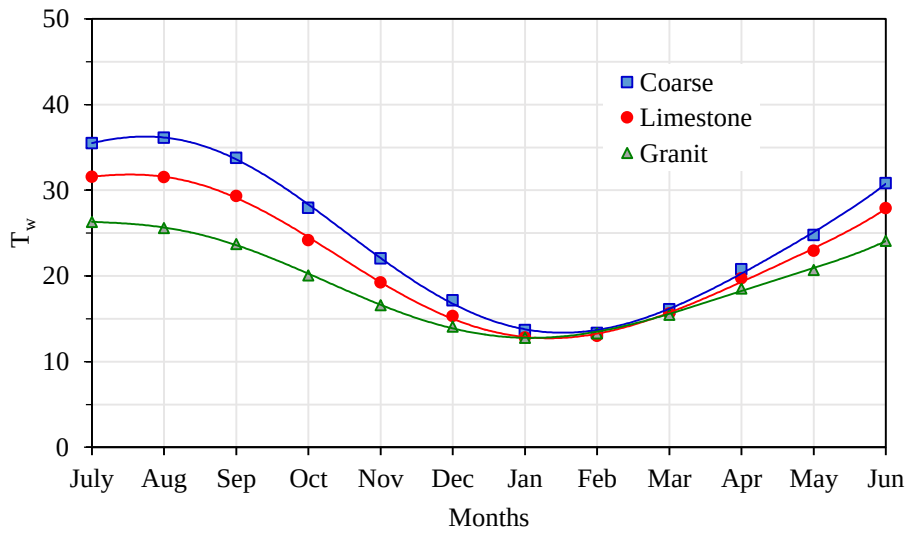



**Fig. 3. Effect of earth type on annual temperature variation of water in the TES tank during fifth year of operation (Ac = 20 $m^2$, CE = 40%, V = 100 $m^3$, $W_4$=30 kg $h^{-1}$).**

Annual temperature variation of water in the TES tank for the first, second, third and fifth year of operation is shown in Fig. 4. It is seen from the figure that water temperature varies rapidly during the first few years. After that this variation decreases, and the drying system reaches the annual periodic operation in fifth year of operation onwards. It can be concluded that the number of periodical operation is equal to 5 years. That is, energy input to the TES tank is equal to heat loss from the tank, and energy balance takes place from fifth year of operation.

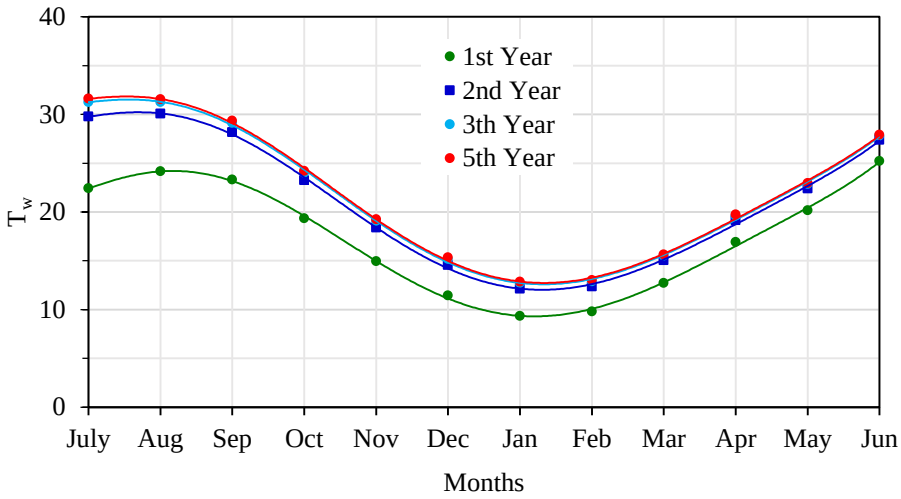



**Fig.4. Annual temperature variation of water in the TES tank for September (Limestone, Ac=20 m², CE=40%, V=100 m³, $W_4$=30 kg h$^{-1}$)**

In order to define collector area for selected load or mass flow rate of cooked corn, Fig.5 illustrates three different collector areas which are 20, 25 and 30 m². It is known that higher collector area gives higher water temperature. This indicates that there is a proportional relationship between collector area and water temperature in TES tank. An important point is that the selection of collector area should provide reasonable temperature for the water in TES tank. It is known that minimum collector area should be selected for reasonable performance parameters and three selected areas were suitable. When the collector area decreases below 20 m², water temperature approaches 0 °C especially for first year of operation, and consequently gives lower performance parameters of COP, COPs and SMER. Therefore, the suitable collector area is 20 m².

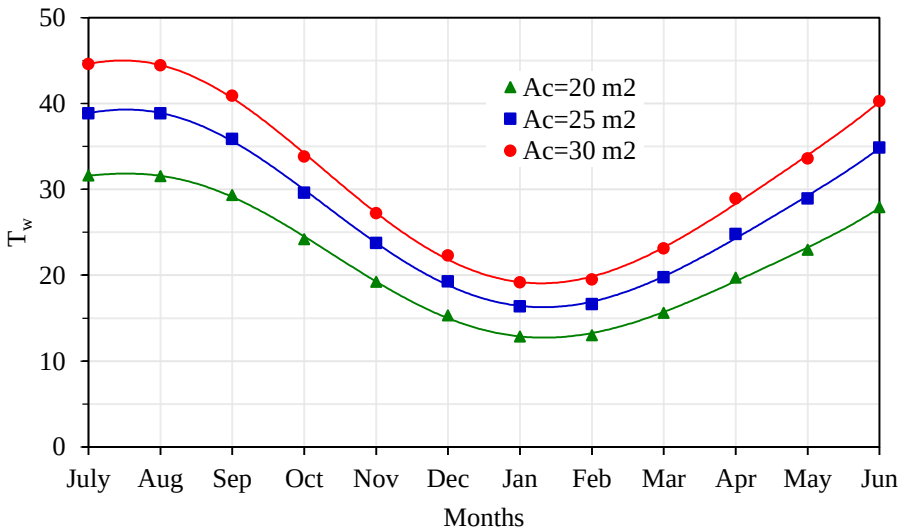



**Fig. 5. Effect of collector area on annual temperature of water in the TES tank during fifth year of operation (limestone, CE = 40%, V = 100 m³, $W_4$=30 kg h$^{-1}$)**

Performance parameters are important for the drying system. The parameters are water temperature in the tank, SMER and COPs. Impact of collector area upon variation in water temperature during fifth year is discussed in Fig.6. The effects of collector area on COPs and SMER are illustrated in Figs. 6 and 7. for three different collector areas which are 20, 25 and 30 m$^2$ for year 5 of operation. It can be noticed that the COP and SMER increases with the collector area because of increasing energy charging to the TES tank. It is important to select a reasonable collector area in order to have a reasonable SMER and COP. It is seen from the figures 6 and 7 that COPs ranged between 4.24 and 5.06, and SMER ranged between 5.49 and 6.56 for the collector area 20 m$^2$. These are reasonable values for the periodic operation. Accordingly, collector area is selected to be 20 m$^2$. The results for the COP are in agreement with (Yumrutaş and Ünsal, 2012). Because of these reasonable values of COP and SMER, collector area is selected as 20 m$^2$ for the other input data used in this study.

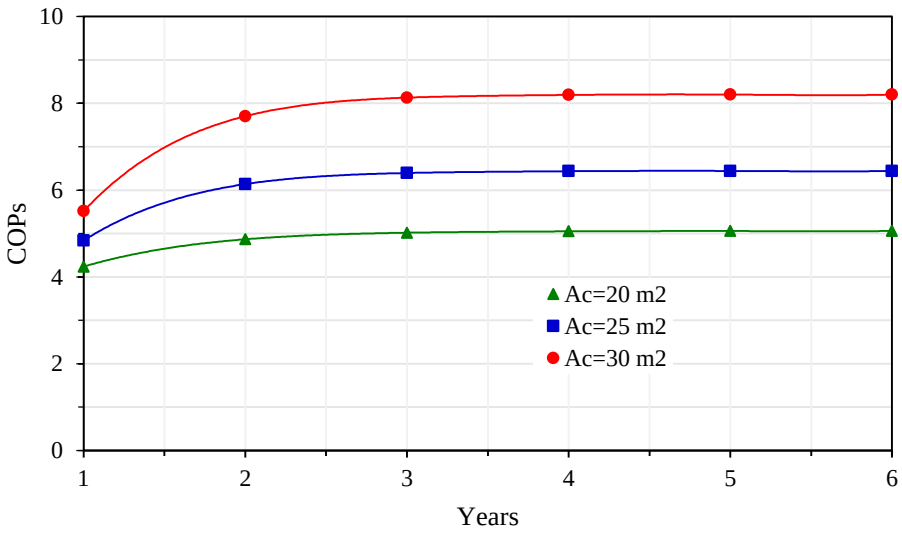



**Fig. 6. Effect of collector area on heat pump COPs (limestone, CE = 40%, V = 100 m$^3$, $W_4$=30 kg h$^{-1}$)**

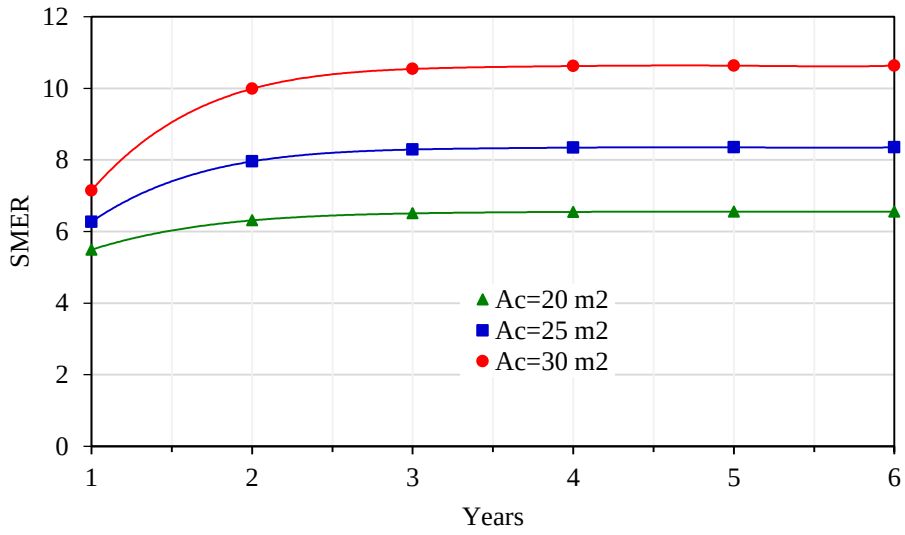



**Fig. 7. Effect of collector area on SMER (limestone, Ac=20 m², CE = 40%, V = 100 m³, $W_4$=30 kg/h)**

The effect of another significant parameter which is drying air teperature, $T_2$, on system performance is showed in Fig. 8. Three different tempeartures are selected according to (www.gov.mb.ca/agriculture, 2019) which are 55, 60, and 65 °C. This figure indicates that when $T_2$ is set at higer values as in 60 and 65 °C the heat pump COP is decreased. The reason is that the heat pump is supplied heat to drying air, $T_2$, when drying air temperature is high the heat pump needs to more power input by compressor, accordingly COP is go down. In the calculations the default $T_2$ is considered 55 C°.

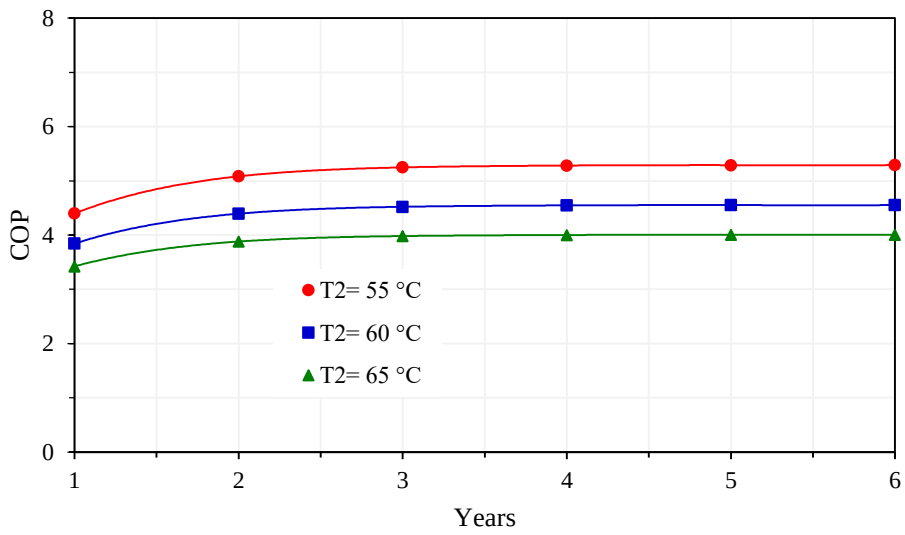



**Fig.8. Effect of $T_2$ on COP (limestone, Ac=20 m², CE = 40%, V = 100 m³, $W_4$=30 kg $h^{-1}$)**

Heating load for the drying unit that must be provided hourly during the year is considered constant and that load is divided into two parts; sensible and latent heat. The biggest part of the load of wet corn is the latent. In order to evaporate the moisture present in the wet corn, more heat is required. There are some factors such as moisture content of corn at inlet and outlet states of corn. Moisture content of initial state of corn should be considered to be within reasonable values. Therefore, the effect of moisture content existing in moist corn on performance parameters of water temperature in TES tank is shown in Fig. 9. Three different moisture contents with values of 20, 25, and 30 % for the moist corn at initial state are selected in the analysis. As it is clear from the figure, when the moisture content, $MC_4$ increased to 30%, $T_w$ decrease, accordingly the other performance parameters such as COP, COPs, and SMER will be decreased because these performance parameters have inversely relations with $T_w$. However, moisture content of 25 % is practical value according to (www.gov.mb.ca/agriculture, 2019) and suitable for energy saving for the drying system. Therefore, moisture content at inlet state of corn is selected as 25 % for all calculations in this study.

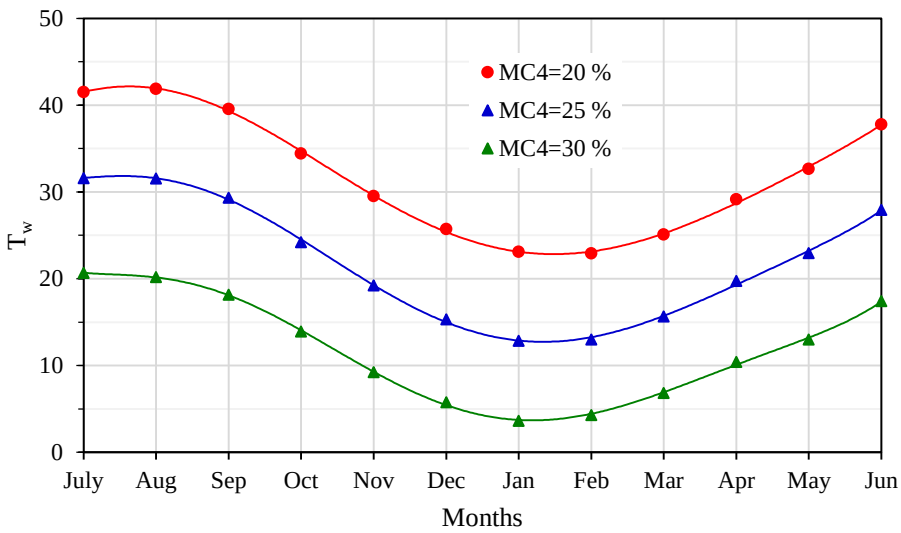



**Fig. 9. Effect of entering moisture content of corn on annual temperature of water temperature in the TES tank during fifth year of operation (limestone, Ac=20 m², CE = 40%, V= 100 m³, $W_4$=30 kg h⁻¹).**

It is important to make annual energy balance for the drying system. The energy supplied to the drying system consists of solar energy, heat pump work and fan power. The energy supplied to the system should be equal to total useful energy or load for the dryer unit, partially stored energy in the TES tank, energy lost to the surrounding earth. Energy fractions are defined as the ratio of each energy component to the total energy supplied to the system. Figure 10 shows energy fractions during the fifth year of operation for the first, second and fifth year of operation. It is seen from the figure that solar energy increases, compressor work decreases, and fan power stays constant throughout years. At the same time, both stored and lost energy decrease, and load increases with the years. It is observed that there is no stored energy during the fifth

year operation, that is, the system operates periodically in fifth year of operation onwards.

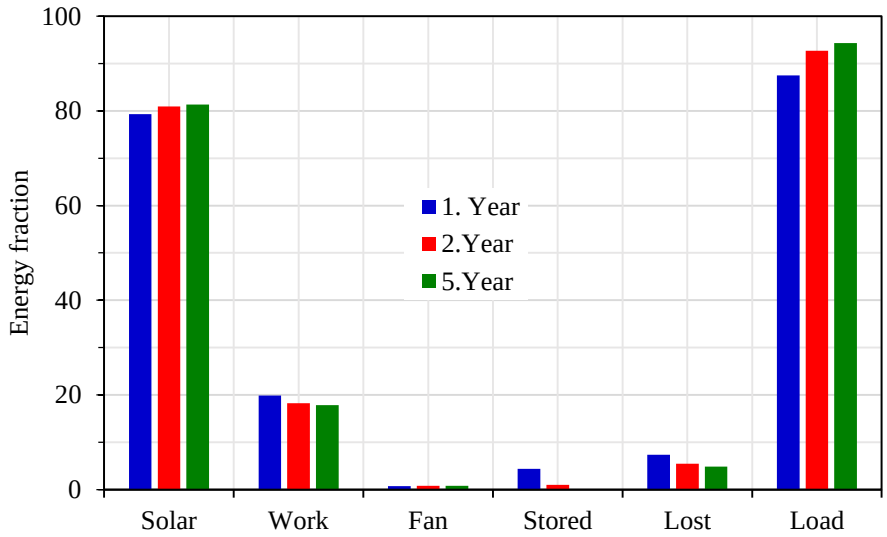



**Fig. 10. Effect of years on energy fraction (limestone, Ac=20 m$^2$, CE = 40%, V = 100 m$^3$, $W_4$=30 kg h$^{-1}$)**

## CONCLUSIONS

1- The system reach to periodic operation in fifth year onwards for 10 years of operation.
2- Earth type around the underground TES tank has a great effect on the drying system performance.
3- When corn mass flow rate and Carnot Efficiency are selected as 30 kg h$^{-1}$ and 40 %, more suitable collector area and TES tank volume are obtained as 20 m$^2$ and 100 m$^3$, respectively. For these values, the performance parameters of the COP, COPs and SMER are obtained as 5.29, 5.06 and 6.56 respectively, when the drying system reaches periodic operation from fifth year onwards.
4- Moisture content of corn at initial state has inversely relation while collector area has a proportional relation with performance parameters.
5- Drying air temperature, $T_2$, has significant effect on performance parameters.
6- Total energy input to the drying system supplied by solar energy, compressor work and fan power are 81.35 %, 17.83 %, and 0.8 % respectively during the fifth year of operation.

## TABLES

**Table 1. Input design parameters for compact heat exchanger used as a condenser (Kays and London, 1984).**

| Parameter | Value |
|---|---|
| Tube outside diameter, $D_o$ | 17.17 (mm) |
| Fin pitch | 305 (1/ m) |
| flow passage hydraulic diameter, $D_h$ | 3.48 (mm) |
| Fin thickness, t | 0.4064 (mm) |
| Free flow area/frontal area, σ | 0.481 |
| Heat transfer area/total volume, α | 554 $m^2/m^3$ |
| Fin area/total area, $A_f/A$ | 0.95 |

**Table 2. Characteristics of the ground structures (Ozisik, 1985).**

| Ground type | Conductivity (W/m K) | Diffusivity ($m^2/s$) | Specific heat (J/kg K) | Heat capacity ($kJ/m^3K$) |
|---|---|---|---|---|
| Limestone | 1.3 | $5.75 \times 10^{-7}$ | 900 | 2250 |
| Granite | 3.0 | $14.00 \times 10^{-7}$ | 820 | 2164.8 |
| Coarse | 0.519 | $1.39 \times 10^{-7}$ | 1842 | 3772 |

## REFERENCES

Aktaş, M., Şevik, S., & Aktekeli, B. (2016). Development of heat pump and infrared-convective dryer and performance analysis for stale bread drying. *Energy Conversion and Management*, *113*, 82-94.

Alves-Filho, O. (2015). *Heat pump dryers: Theory, design and industrial applications*. CRC Press.

Akers, W. W., Deans, H. A., & Crosser, O. K. (1958). Condensing heat transfer within horizontal tubes. *Chem. Eng. Progr.*, *54*.

Baniasadi, E., Ranjbar, S., & Boostanipour, O. (2017). Experimental investigation of the performance of a mixed-mode solar dryer with thermal energy storage. *Renewable energy*, *112*, 143-150.

Erbay, Z., & Hepbasli, A. (2014). Advanced exergoeconomic evaluation of a heat pump food dryer. *Biosystems engineering*, *124*, 29-39.

Fatouh, M., Metwally, M. N., Helali, A. B., & Shedid, M. H. (2006). Herbs drying using a heat pump dryer. *Energy Conversion and Management*, *47*(15-16), 2629-2643.

Mrema, G. C., Gumbe, L. O., Chepete, H. J., & Agullo, J. O. (2012). *Rural structures in the tropics: design and development*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Leon, M. A., Kumar, S., & Bhattacharya, S. C. (2002). A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *6*(4), 367-393.

Xu, C., Xu, G., Zhao, S., Dong, W., Zhou, L., & Yang, Y. (2016). A theoretical investigation of energy efficiency improvement by coal pre-drying in coal fired power plants. *Energy conversion and management*, *122*, 580-588.

Nowak, D., & Lewicki, P. P. (2004). Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *5*(3), 353-360.

Wang, Y., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Chen, H. (2014). Drying and quality characteristics of shredded squid in an infrared-assisted convective dryer. *Drying technology*, *32*(15), 1828-1839.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, New York: John Wiley& Sons.

Handbook, ASHRAE Fundamentals: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 1997.

Handbook, ASHRAE Systems and Equipment: American Society of Heating, Refrigerating, and Air- Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 2000.

https://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/production/grain-corn/print,corn-harvesting-and-storage.html; [accessed 30 July 2019].

Icropera, F. P., and De Witt, D. P. (2006). Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Sixth Edition, John Wiley and Sons, Inc. USA.

Kazarian, E. A., and Hall, C. W. (1962). Thermal properties of grain (Doctoral dissertation, Michigan State University of Agriculture and Applied Science. Dept. of Agricultural Engineering).

Kays, W. M., & London, A. L. (1984). Compact heat exchangers. 3rd ed. Blacklick, Ohio, USA, McGraw Hill

Koyuncu, T. (2006). Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications. *Renewable Energy*, *31*(7), 1073-1088.

KCD dryer continuo's mixed flow. Operation manual, www.kongskilde.com, kcd-mk4_man-gb_117012512.; 2019 [accessed 30 July 2019].

Momin, A. M. E., Saini, J. S., & Solanki, S. C. (2002). Heat transfer and friction in solar air heater duct with V-shaped rib roughness on absorber plate. *International journal of heat and mass transfer*, *45*(16), 3383-3396.

Mohanraj, M., & Chandrasekar, P. (2009). Performance of a forced convection solar drier integrated with gravel as heat storage material for chili drying. *Journal of Engineering Science and Technology*, *4*(3), 305-314.

Magnussen, O. M. and Strommen, I. (1981). Heat pump drying of heavily salted codfish, Nordic Refrigeration Meeting, Copenhagen, May 21–23 (in Norwegian).

Naemsai, T., Jareanjit, J., & Thongkaew, K. (2019). Experimental investigation of solar-assisted heat pump dryer with heat recovery for the drying of chili peppers. *Journal of Food Process Engineering*, e13193.

Ozisik, M. N. (1985). Heat transfer: a basic approach, McGraw-Hill, New York.

Qiu, Y., Li, M., Hassanien, R. H. E., Wang, Y., Luo, X., & Yu, Q. (2016). Performance and operation mode analysis of a heat recovery and thermal storage solar-assisted heat pump drying system. *Solar Energy*, *137*, 225-235.

Sundaram, P., Sudhakar, P., & Yogeshwaran, R. (2016). Experimental studies and mathematical modeling of drying wheat in fluidized bed dryer. *Indian Journal of Science and Technology*, *9*(36), 1-8.

Strommen, I. (1980) Drying of heavily salted codfish, Ph.D. Thesis, The Norwegian Institute of Technology, Division of Refrigeration Engineering, Trondheim, Norway (in Norwegian).

Şevik, S., Aktaş, M., Doğan, H., & Koçak, S. (2013). Mushroom drying with solar assisted heat pump system. *Energy Conversion and Management*, *72*, 171-178.

Turgut, O., & Onur, N. (2000). Design and performance of a special solar collector and its application to drying of agricultural products. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *13*(3), 639-648.

Wang, Y., Li, M., Qiu, Y., Yu, Q., Luo, X., Li, G., & Ma, X. (2019). Performance analysis of a secondary heat recovery solar-assisted heat pump drying system for mango. *Energy Exploration & Exploitation*, 0144598718823937.

Yumrutaş, R., & Ünsal, M. (2012). Energy analysis and modeling of a solar assisted house heating system with a heat pump and an underground energy storage tank. *Solar Energy*, *86*(3), 983-993.

Yumrutaş, R., & Ünsal, M. (2000). Analysis of solar aided heat pump systems with seasonal thermal energy storage in surface tanks. *Energy*, *25*(12), 1231-1243.

Yumrutas, R., & Kaska, Ö. (2004). Experimental investigation of thermal performance of a solar assisted heat pump system with an energy storage. *International journal of energy research*, *28*(2), 163-175.

Zogou, O., & Stamatelos, A. (1998). Effect of climatic conditions on the design optimization of heat pump systems for space heating and cooling. *Energy Conversion and Management*, *39*(7), 609-622.

**Nomenclature**

| | |
|---|---|
| $A$ | tank surface area ($m^2$) |
| $A_o$ | outside area of condenser ($m^2$) |
| $A_{col}$ | collector area ($m^2$) |

$c_{pa}$ specific heat of air (kJ kg$^{-1}$ K$^{-1}$)

$C_{p_{wheat}}$ specific heat of wheat (kJ kg$^{-1}$ K$^{-1}$)

G mass velocity for air across condenser (kg m$^{-2}$ s$^{-1}$)

h specific enthalpy of the moist air (kj kg$^{-1}$)

$h_g$ specific enthalpy of saturated water vapor (kj kg$^{-1}$)

$h_a$ specific enthalpy of dry air at the mixture temperature (kj kg$^{-1}$)

$h_4$ specific enthalpy of dry wheat pre drying (kj kg$^{-1}$)

$h_5$ specific enthalpy of dry wheat after drying (kj kg$^{-1}$)

$h_{fg}$ latent heat of vaporization of water at the average temperature (kj kg$^{-1}$)

$I_T$ hourly solar radiation on tilted surface (W m$^{-2}$)

k thermal conductivity of earth (W m$^{-1}$ K$^{-1}$)

$\dot{m}_a$ mass flow rate of dry air (kg s$^{-1}$)

$\dot{m}_w$ amount of evaporated water from moist wheat (kg s$^{-1}$)

$\dot{m}_{w_4}$ mass flow rate of water in wheat pre-drying (kg s$^{-1}$)

$\dot{m}_{w_5}$ mass flow rate of water in wheat after drying (kg s$^{-1}$)

$\dot{m}_p$ mass flow rate of dry corn (kg s$^{-1}$)

$M_p$ moisture content of corn on a dry basis (kg water kg$^{-1}$ solid)

$MC_4$ moisture content pre drying on wet basis (%)

$MC_5$ moisture content after drying on wet basis (%)

P dimensionless parameter [-]

q dimensionless heat transfer to the tank [-]

Q heat transfer to the tank (W)

$\dot{Q}_H$ condenser heating load (W)

$\dot{Q}_{evap}$ latent heat of evaporation water from moist wheat (W)

$\dot{Q}_u$ solar energy rate (W)

$q_u$ dimensionless useful solar energy charge rate to the tank, $q_u = \frac{\dot{Q}_u}{4\pi RKT_\infty}$ [-]

$q_H$ dimensionless condenser heat load, $q_H = \frac{\dot{Q}_H}{4\pi RKT_\infty}$ [-]

r radial distance from the tank centre (m)

R tank radius (m)

t time (s)

T earth temperature (K)

$T_a$ ambient air temperature (K)

$T_o$ outside design air temperature (K)

$T_d$ dry bulb temperature of moist air (K)

$T_2$ condenser outlet temperature (K)

$T_4$ undried wheat temperature (K)

$T_5$ dried wheat temperature (K)

$T_w$ water temperature in the tank (K)

$T_c$ average temperature of air pre and after condenser (K)

$T_h$ condenser temperature (K)

$T_\infty$ deep ground temperature (K)

u dimensionless parameter for design condition [-]

$(UA)_{he}$ product of heat transfer coefficient and area for heat pump condenser (W $K^{-1}$)

V volume of the tank ($m^3$)

$\dot{V}_a$ volume flow rate for air ($m^3$ $kg^{-1}$)

$w$ dimensionless compressor work [-]

$\dot{W}_c$ compressor input power (W)

$\dot{W}_f$ fan input power (W)

$W_4$ weight of wheat pre-drying (kg $h^{-1}$)

$W_5$ weight of wheat after drying (kg $h^{-1}$)

Greek letters

$\alpha$ thermal diffusivity of earth ($m^2$ $s^{-1}$)

$\eta_c$ Carnot efficiency [-]

$\eta_{fc}$ flat plate solar collector efficiency [-]

$\phi$ dimensionless temperature for earth [-]

$\phi_1$ dimensionless condenser inlet air temperature [-]

$\phi_c$ dimensionless average temperature for air pre and after condenser [-]

$\phi_w$ dimensionless water temperature in the tank [-]

$\phi_2$ dimensionless air supply temperature pre-dryer [-]

$\gamma$ dimensionless parameter [-]

$\rho_w$ water density (kg $m^{-3}$)

$\Delta p$ pressure drop of air across condenser (Pa)

$\sigma$ free flow area/frontal area for condenser [-]

f parameter estimated from a figure [-]

$v_1$ specific volume for air pre-condenser ($m^3$ $kg^{-1}$)

$v_2$ specific volume for air after condenser ($m^3$ $kg^{-1}$)

$v_m$ average specific volume for air ($m^3$ $kg^{-1}$)

$\omega$ humidity ratio for moist air (kg water $kg^{-1}$ dry air)

$\omega_2$ humidity ratio for moist air pre drying process (kg water $kg^{-1}$ dry air)

$\omega_3$ humidity ratio for moist air after drying process (kg water $kg^{-1}$ dry air)

*Acronyms*

COP coefficient of performance of heat pump

COPs coefficient of performance of whole system

CE Carnot Efficiency

HPD Heat Pump Drying

GSHP Ground Source Heat Pump

SMER specific moisture evaporation rate (kg $kW^{-1}$ $h^{-1}$)

SAHP Solar-Assisted Heat Pump

TES thermal energy storage

HPD heat pump drying

# AN OVERVIEW ABOUT THE USAGE OF NANOFLUIDS IN HEAT TRANSFER ENHANCEMENT STUDIES

Nehir TOKGOZ, Osmaniye Korkut Ata University, Engineering Faculty, Energy Systems Engineering, Osmaniye, nehirtokgoz@osmaniye.edu.tr

**ABSTRACT**: The lack of effective and productive use of energy is one of the most important problems of today's world. The applications in energy efficiency have started to become widespread day by day due to depletion of fossil fuels. In this context, the enhancement studies of heat exchangers which are used for transporting heat in industry have been conducting expeditiously. The major target of this subject is to design more efficient, economic and compact devices. Improving techniques which can be categorized into three groups like active, passive and combined methods have gained new dimensions with developing technologies. Especially, passive procedures are preferable because of not requiring energy from an external source. One of the passive methods is either the addition of a liquid into main fluid or enhancing main fluid with solid particles. Nanofluid is chosen as main fluid in aforementioned systems and nanoparticles are mixed with that nanofluid. Thus, the heat transfer properties of original liquid are improved greatly and it seems to be ideal for practical applications. This paper focuses on the heat transfer and surface volume improvements, advancements in thermal conductivity and Brownian movement of nanofluids. Although, many researchers claim that nanofluids have positive effects on heat transport, conflicting results have arisen by the reasons of unclear heat transfer mechanisms and single phase-double phase approach need to insert an English abstract into this section by taking into account exactly the same format. The abstract should not exceed the 300-word limitation. If your translation does exceed the given limitation, you should arrange your wording to keep within the 300-word limit. You may need to insert an English abstract into this section by taking the word limit into account.

**Key words:** heat transfer enhancement, nanofluid, single phase, two phase

# NANO AKIŞKANLARIN ISI TRANSFERİ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARINDA KULLANILMASINA GENEL BAKIŞ

**ÖZET:** Enerjinin etkin ve verimli kullanılmaması günümüzün en önemli problemlerinden biridir. Özellikle fosil yakıtların tükenmek üzere olması neticesinde her alanda giderek artan enerji verimliliği uygulamaları günden güne yaygınlaşmaktadır. Bu çerçevede endüstride ısıyı taşımak için kullanılan ısı değiştiricileri iyileştirme çalışmaları da hızla devam etmektedir. Isı transferi iyileştirme çalışmalarının en önemli amacı daha verimli, daha az maliyetle daha kompakt cihazların tasarlanmasıdır. Aktif, pasif ve birleşik sistemler olmak üzere üç

sınıfa ayrılan iyileştirme teknikleri gelişen teknolojiyle yeni boyutlar kazanmaktadır. Özellikle dışardan herhangi bir enerjiye ihtiyacı duymayan pasif iyileştirme teknikler çok fazla tercih edilmektedir. Bu yöntemlerden biri de temel akışkana ilave edilen sıvılar veya katı partiküllerle iyileştirme yapmaktır. Nano sıvılar olarak adlandırılan bir temel akışkan içine nano boyutlu parçacıkların karışımı, orijinal sıvının ısı transfer özelliklerini büyük ölçüde artırdıklarından pratik uygulamalar için idealdir gibi görülmektedir. Bu makale, ısı transferinin arttırılması, ısıl iletkenlikteki iyileşme, yüzey hacim oranındaki artış, Brownian hareketi, vb. gibi nano sıvıların özellikleri üzerine yapılan çalışmaları ele almaktadır. Birçok araştırmacı nano akışkan kullanılmasının ısı transferini çok büyük oranda artırdığını iddia etse de transfer mekanizmalarının tam olarak belirlenmemiş olması ve tek faz-çift faz yaklaşımından dolayı çelişkili sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

**Anahtar sözcükler:** Isı transferi iyileştirmr, nanoakışkan, tek faz, çift faz

## GİRİŞ

Isı transferini iyileştirme teknikleri en genel halde aktif ve pasif teknikler olarak sınıflandırılmaktadır. (Bergles, 1983). Aktif teknikte yüzey titreşimi veya dışarıdan verilmesi gereken elektriğe ihtiyaç duyulurken pasif tekniklerde iyileştirme yüzey geometrisi ve akışkan hareketinin değiştirilmesiyle yapılabilmektedir. İş yapan akışkanının (temel akışkan) ısı transferi etkinliğini artırmak için içerisine katı parçacıklar ilave edilerek yeni akışkan elde edilmesi pasif yöntemlerden biridir. Temel akışkanın içerisine mikro boyuttaki parçacıkların eklenmesi ile yapılan iyileştirme çalışmaları ilk olarak Maxwell tarafından uzun yıllar önce teorik olarak ortaya konulmuştur (Maxwell, 1891). Kullanılan parçacıkların boyutları yeterince küçük olmadığından ve kararsız yapılarından dolayı birçok dezavantajı da beraberinde getirmiştir (basınç kayıpları, tıkanma tortulaşma gibi). Son yıllarda gelişen teknolojiyle temel akışkanların içerisine ilave edilen mikro boyuttaki parçacıkların yerini nano boyuttaki parçacıklara bırakmaktadır. Nanoparçacıklar aynı hacimsel konsantrasyonda mikro parçacıklara kıyasla daha fazla yüzey alanına sahip olduklarından ısı transferini daha fazla artırabilmektedirler (Murshed vd., 2008). Endüstride yaygın olarak kullanılan saf su, motor yağı, etilen glikol gibi temel akışkanların içerisine 100 nm den daha küçük, ısıl iletkenlikleri yüksek, metalik veya metal olmayan katı parçacıklar ilave edilerek nanoakışkan adı verilen yeni akışkanlar elde edilerek iyileştirme çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. Nanoakışkan ifadesi ilk olarak doksanlı yıllarda Choi ve arkadaşları (Choi vd., 1995) tarafından ortaya konulmuştur. Nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının geleneksel akışkanlara göre çok daha yüksek olması, basınç düşümünü çok fazla artırmaması, yüksek ısı transfer performanslarından dolayı daha küçük boyutlarda ısı değiştirici yapma imkânları sunmaktadır. Isı iletimdeki artışı araştırmacılar (Keblinski vd., 2002) nanoparçacıkların Brownian hareketi, parçacık/sıvı ara yüzeyindeki akışkan tabakası, nanoparçacıklardaki ısı aktarım mekanizması ve nanoparçacık kümelenmesinin etkisi olarak sıralamışlardır. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri ve ısı transfer mekanizmaları üzerine etkileri bilim adamları tarafından farklı yaklaşım ve metodalar

la çözülmeye çalışılsa da günümüzde hala kesinleşmiş bilgiler mevcut değildir. Nanoakışkanlar son yıllarda birçok araştırmacının ilgi odağı haline gelmiştir. Nanoakışkanların ilgi odağı haline gelmesinin en önemli sebebi, akışkanın içerisine küçük yüzdelerde ilave edilen nanoparçacıklar sayesinde termal iletkenliğin çok fazla artması ve buna karşılık basınç düşüsün artmasına yok denecek kadar az etkili olmasıdır. Termo-fiziksel özelliklerinden ve basınç düşüşü artırmamasından dolayı özellikle ısı transferi iyileştirme çalışmalarında çok fazla tercih edilir duruma gelmiştir. Isı transfer uygulamalarında sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından kararlı nanoakışkanların hazırlanması çok önemlidir. Sunulan bu çalışmanın temel amacı nanoakışkanların termofiziksel özellikleri üzerine yapılan deneysel ve nümerik araştırmaları özetleyen kapsamlı bir derleme yapmaktır. Ayrıca termal iletkenlik, vizkozite gibi termofiziksel özellikleri etkileyen; farklı temel akışkanlar, hacim konsantrasyonu, parçacık boyutu, sıcaklık gibi parametrelerin etkisi tartışılmaktadır. Termofiziksel özellikler üzerinde etkili olan bu parametrelerle ilgili literatürde çok çelişkili sonuçlar bulunmaktadır. Dolayısıyla yapılan çalışma bu alanda çalışan araştırmacılar için yaralı olacaktır. Çalışmalar sonucunda tek nanoparçacık yerine hibrit nanoparçacıklar la nanoakışkan hazırlamanın kararlılık açısından daha zor olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, daha iyi termal iletkenlik elde etmek için tercih edilen hibrid nanaoakışkanların mekanizmaları hakkında daha derin bilgi ve anlayış gerekmektedir.

## ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yeni bir teknoloji olmasından kaynaklı nanoparçacıkların özellikleriyle ilgili çok fazla bilgi bulunmamaktadır. Bunun için nanoparçacıkların konsantrasyonunun ölçümüne dair çalışmalar yapan Kostic vd. (Kostic vd., 2006) geliştirdikleri teknik ile nanoakışların yoğunluğunu ölçmüşlerdir. Yoğunluğu belli saf suyun konsantrasyonunu ölçerek doğruladıkları teknikle nanoakışların yoğunluğunu karşılaştırmışlardır. Yaptıkları ölçümler sonucunda geliştirdikleri ölçüm tekniğinin küçük konsantrasyonlar için ölçüm belirsizliğinin büyük ve kabul edilemez, ancak, daha yüksek konsantrasyonlar için doğru ve kabul edilebilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu nedenle düşük konsantrasyonlar için büyük hacim oranları önermişlerdir. Şahin vd. (Şahin vd., 2006) ısı transferinin yoğun olarak kullanıldığı endüstriyel sistemlerde iyileştirme için nanoakışkanların çok büyük potansiyele sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Nanoakışkanların ısı transferini iyileştirme üzerine etkilerini, parçacıkların karmaşık hareketleri sonucu enerji transferi, termal iletkenliği artırmaları, basınç düşümünü ihmal edilebilir düzeyde artırmaları gibi sebeplere açıklamışlardır.

Kulkarni vd. (Kulkarni vd., 2007) süspansiyon halinde metalik nanoparçacıkler içeren nanoakışkanları, temel akışkanın termal iletkenliğini önemli miktarda arttırdığı göstermek için yaptıkları çalışmalarında ilk olarak $SiO_2$, $Al_2O_3$ ve CuO içeren nanoakışkanların çeşitli sıcaklıktaki farklı hacim yüzdelerindeki özelliklerini incelemiş, sıcaklık ve parçacık çapının viskozite üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda nanoakışların viskozitesinin konsantrasyonun bir fonksiyon olduğu ve konsantrasyonla arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Parçacık boyutu

arttıkça viskozitenin azaldığını ve ısı transfer katsayısının artığını ortaya koymuşlardır. Yoğunluğa bağlı olarak viskozitenin arttığını ve konsantrasyon arttıkça basınç kaybının da arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Artuç (Artuç, 2007) farklı boyutlarda bakır ve gümüş parçacık ilavesi ile elde ettiği nanoakışkanların kullanımının ısı transferi üzerindeki etkileri incelemiş; öğütme ve yoğunlaştırma gibi belirli yöntemlerle nanoakışkanlar hazırlamıştır. Artuç, elde ettiği sonuca göre ısıl iletkenliğin nanoakışkanların hacimsel değerinin artışıyla arttığını belirlemiştir. Belirli bir artış değerinden sonra ise doyuma ulaştığını görmüştür. Nanoakışkanlar da ısı iletimini etkileyen faktörlerin boyut, hacimsel oran, sıcaklık, nanoparçacığın ısı iletim katsayısı gibi faktörler olduğu sonucuna varmıştır.

Kütlece %60 etilen glikol ve %40 su karışımı içinde süspansiyon haline getirilmiş alüminyum oksit nanoparçacıkların özgül ısı ve yoğunluğunun ölçüldüğü çalışmada nanoakışkanların akış karakteristikleri ve ısı transfer özelliklerini belirlemek amaçlanmıştır. Vajjha vd. (Vajjha vd. ,2008) farklı hacimsel konsantrasyonları için bir dizi sıcaklıkta ölçümler yapıp, elde ettikleri deney sonuçlarını da sıcaklık ve parçacık hacmi konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak belirlemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, ısı değiştiricileri, bina ısıtması ve otomotiv soğutması gibi çeşitli uygulamalarda $Al_2O_3$ nanoakışkanının ısı transfer performansının ve pompalama gücü gereksiniminin incelenmesinde kullanılabilecek korelasyonlar elde etmişlerdir. Araştırmacı aynı temel akışkanla yapmış olduğu başka bir çalışmasında (Vajjha vd., 2009) akışkanın içerisine alüminyum oksit $Al_2O_3$, antimon-kalay oksit ve çinko oksit (ZnO) nanoparçacıkları içeren üç farklı nanoparçacık ilave etmiştir. İlk olarak temel akışkanın yoğunluğu için bir ölçüm alınmış, sonra nanoakışkanların farklı hacmi konsantrasyonu için 0 ° C ila 50 ° C sıcaklık aralığında yoğunluk ölçümlerini incelemişlerdir. Yaygın olarak kullanılan teorik denklemler ile ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında en iyi uyum $Al_2O_3$, ve antimon-kalay oksit içeren nanoakışkan için elde edilirken en fazla sapmanın ZnO nanoakışkanı için belirlenmiştir.

Bianco vd. (Bianco vd., 2009) çalışmalarında, sabit ve homojen ısı akısına tabi tutulan bir dairesel tüp içindeki su- $Al_2O_3$ içeren nanoakışkanı sayısal olarak incelemişlerdir. Tek ve çift faz model kullandıkları çalışmalarının sonucunda iki model arasında ortalama ısı transfer katsayısındaki maksimum fark yaklaşık %11 olduğu ve nanoakışlar için taşınım ısı transfer katsayısı temel akışkanınkinden daha büyük olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca ısı transferinin arttırılması parçacık hacmi konsantrasyonuyla birlikte arttığını, ancak bunun kayma gerilmesini de arttırdığını belirlemişlerdir.

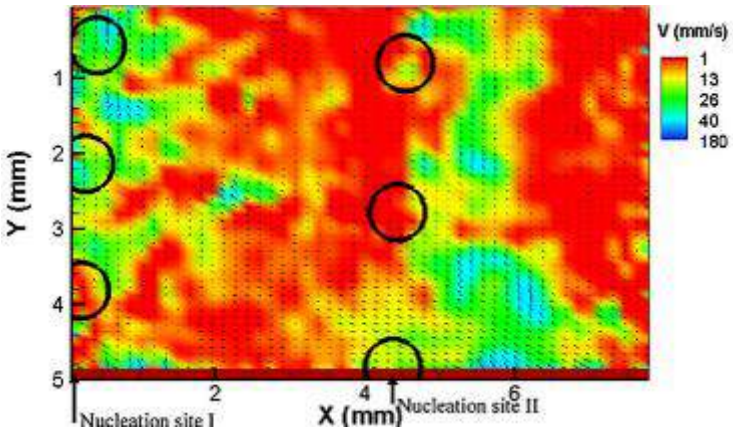
Gedik, (Gedik, 2009) nanoakışkanları, metal veya ametal nanoparçacıkların bir akışkanla süspansiyonu olarak tanımlanmış ve ısı transferini arttırmaya olan etkisini deneysel incelemiştir. Al2O3- su ve CuO-su nanoakışkanlarının dairesel bir boruda türbülanslı akışta zorlanmış taşınımla ısı transferini ve basınç düşüşünü incelemiştir. Nanoparçaçıklı akışkanın, ısı transferini arttırmaya yönelik katkısı belirli hacimsel oranlarda meydana geldiği ve daha büyük hacimsel oranlarda bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Ding vd. (Ding vd. 2009) klasik soğutucular yerine nanoakışkanların ısı transferini artırması nedeniyle, alternatif bir soğutucu olarak kabul etmişler ve böylece gerekli

soğutma akışkanı gücünü azaltmışlardır. Laminer akış koşulları altında taşınımla ısı transferinin sayısal modellemesini yaparak artan nanoparçacık hacminin duvar kayma gerilmesi üzerindeki etkisi olduğu ve nanoparçacıkların hacim konsantrasyonun artmasıyla hem ısı transfer katsayısının hem de duvar kayma geriliminin arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Kakaç ve Pramuanjaroenkij (Kakaç ve Pramuanjaroenki, 2009) zorlanmış taşınımla ısı transferinin nanoakışkanlarla iyileştirilmesi üzerine yapılmış olan önemli makaleleri incelemişlerdir. Nanoakışkanların ısı transferi iyileştirme tekniklerinde son gelişmeler olmasına rağmen, nano parçacıkların ısı transfer mekanizmaları ve akış karakteristiklerini anlamak için daha fazla deneysel ve teorik çalışmalara ihtiyaç olduğunu ve yapılacak çalışmalarda parçacık ve temel akışkan arasındaki kayma hızı, nanoakışkanların ısı transfer performansı üzerinde önemli rol oynadığından nanoakışkanları tek değil iki fazlı akış olarak incelenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Ontiveros vd. (Ontiveros vd., 2010) kaynama üzerine nanoakışkanların etkisini araştırmak parçacık görüntülemeli hız yöntemini (PIV) kullanarak deneysel çalışma yapmışlardır. Kabarcıkların hidrodinamik davranışındaki değişiklikleri de gözlemlemişlerdir. Duvar sıcaklığı ve nanoakışkanın konsantrasyonu arasında bir ilişki olduğunu da vurgulamışlardır. PIV sonucu elde edilen nanoakışkanınn hız profili şekil 1 de gösterilmiştir.

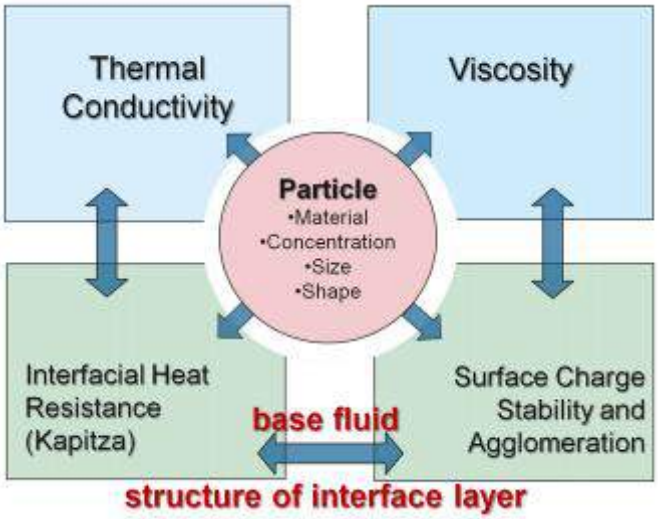



**Şekil 1. Nanoakışkanın (%0.002 konsantrasyonlu) Hız Profili (ontiveros vd., 2010)**

Özerinç (Özerinç, 2010) çalışmasında, nanoakışkanların yüksek ısıl iletim katsayıları sebebiyle ısı transferini arttırmada önemli rol oynadığını fakat ısıl iletim katsayısı artışına sebep olan mekanizmaların tam olarak anlaşılmadığını söylemiştir. Nanoakışkanları teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmalarda, ısıl iletim katsayısına etki eden hacimsel parçacık oranı, parçacık boyutu ve sıcaklık ele almıştır. Nanoakışkanların kullanılmasının ısı transferini arttırdığı sonucuna varmıştır.

Timofeeva vd.(2011) nanoakışkanlar da viskozite, ısıl iletkenlik ve soğutma verimliliği gibi kavramların incelemişlerdir. Tek fazlı sıvılar için soğutma verimliliği ölçümlerini analiz edip, ısı transferi için önemli olan nanoakışkanların özelliklerini

belirlemişlerdir. Nanoakışkanlar için çok değişkenliği şematik gösterimleri Şekil 2 de sunulmuştur. Nanoparçacıkların temel akışkan içinde ki konsantrasyonun ısı transferini artırmak için en etkili parametre olduğunu ortaya koymuşlardır.

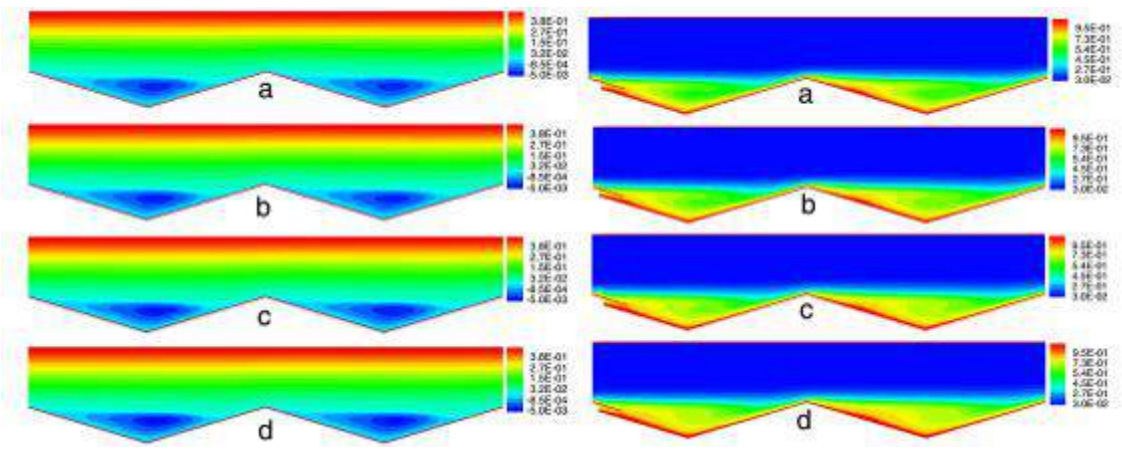



**Şekil 2. Nanoakışkan Sisteminin Çok değişkenliğinin Şematik Gösterimi (Timofeeva vd., 2011)**

Demir vd. (Demir vd.,2011) sabit duvar sıcaklığına sahip yatay bir boru içinde, $TiO_2$ ve $Al_2O_3$ nanoparçacıkları içeren nanoakışların zorlanmış taşınım akışlarını sayısal olarak incelemişlerdir. Deneysel veriler ile $TiO_2$ modelini doğrulamış ve modelinin doğrulanmasından sonra $Al_2O_3$ için çalışma yapmışlardır. Nanoparçacık konsantrasyonunun ve Reynolds sayısının duvar kayma gerilmesi, Nusselt sayısı, ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşü üzerindeki etkilerini incelemiş, nanoparçacıkların ilavesi ile ısı transferinin arttığını tespit etmişlerdir.

Abu-Nada ve Oztop (Abu-Nada ve Oztop, 2011) sonlu hacim yöntemini kullanarak, $Al_2O_3$- su nanoakışının ısı transferi artırma üzerine etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Nanoakışkanın etkin termal iletkenliğini ve viskozitesini sırasıyla Maxwell-Garnetts ve Brinkman modelleriyle hesaplamışlardır. Çözümleri, farklı Rayleigh sayıları ve nanoakışların farklı hacim fonksiyonları için yerel ve ortalama Nusselt sayıları ve hız profilleri ile sunmuşlardır. Temel akışkana $Al_2O_3$ nanoparçacığının eklenmesinin ortalama Nusselt sayısını arttırdığını ve ısı transferinin aynı Rayleigh sayısı için geometri parametresinin artmasıyla arttığını görmüşlerdir.

Ahmed vd. (Ahmed vd., 2011) oluklu kanal üzerinden bakır-su nanoakışkanının ısı transferi ve basınç düşüşü özelliklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre ısı transferinin, Reynolds sayısı ve nanoparçacık hacim fonksiyonu arttıkça arttığı ancak basınç düşüşünde de hafif bir artış olduğunu görmüşlerdir. Farklı konsantrasyonlar için sayısal sonuçlardan elde edilen akım çizgileri ve izoterm eğrileri Şekil 3'de gösterilmiştir.

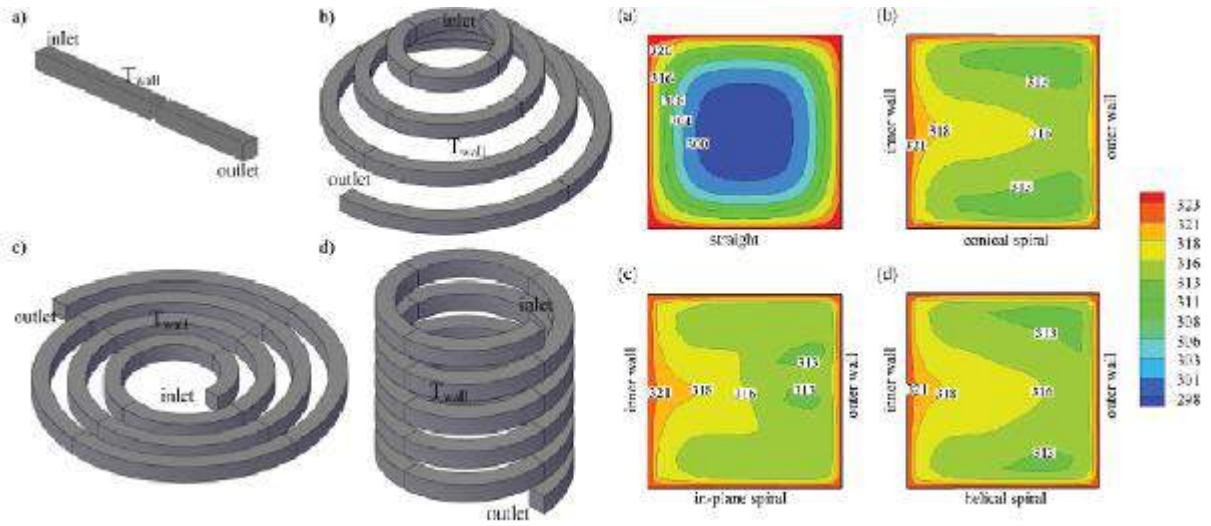



**Şekil 3. Farklı Konsantrasyonlar İçin Akım Çizgileri ve İzoterm Eğrileri(Ahmed vd., 2011)**

Saterlie vd. (Saterlie vd., 2011) bakır bazlı nanoakışkanların dağılma özelliklerini ve termal iletkenlik performansını incelemişlerdir. %0.55 ve %1 oranlarında bakır nanoparçacıklı akışkanlar hazırlayıp bakır parçacıkların temel akışkan içerisindeki tanecik boyutu dağılımını belirlemişlerdir. Bakır nanoparçacıkların su içinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak için bir dağıtıcı madde olan sodyum dodesilbenzensülfonat (SDBS) kullanmışlardır. Termal iletkenlikteki artışın bakır nanoparçacıkların boyutuyla doğrudan ilişkili olduğunu görmüşlerdir.

Hosseini vd. (Hosseini vd., 2011) termal iletkenlik, viskozite, yoğunluk ve özgül ısı gibi nano akışkanların fiziksel özellikleri hakkında mevcut tüm formül ve korelasyonları gözden geçirip sınıflandırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar ile nano sıvıların fiziksel özelliklerine parçacık konsantrasyonu, parçacık ve baz sıvısının fiziksel özellikleri, sıcaklık gibi birçok faktörün etki ettiğini görmüşlerdir. Tüm korelasyonun parçacık boyutu ve kullanılan parçacığın özelliğine bağlı olduğunu yüksek parçacık hacmi konsantrasyonunda viskozite, yoğunluk ve özgül ısının etkinliğinin daha belirgin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Sasmito vd. (Sasmito vd., 2011) yaptıkları çalışma ile pasif iyileştime teknikleri için kullanılan geometri etkisini (Şekil4) ve nanoparçacık ilavesini birleştirerek ısı transferini arttırmayı amaçlamışlardır. $Al_2O_3$-su ve $CuO_2$ süspansiyonları içeren akışkanların akış davranışı ve ısı transfer performansını inceleyip düz tüp içinde akan suyun akış davranışlarıyla karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre %1'e kadar olan nanoparçacık ilavesinin ısı transfer performansını önemli ölçüde artırdığını daha fazlasının ise ısı transfer performansını bozma eğiliminde olduğunu görmüşlerdir.




**Şekil4. (a) Düz tüp,(b)Konik Spiralli Tüp, (c) Sıralı Spiralli Tüp,(d) Helisel Spiralli Tüp ve Sıcaklık Dağılımları, (Sasmito vd., 2011)**

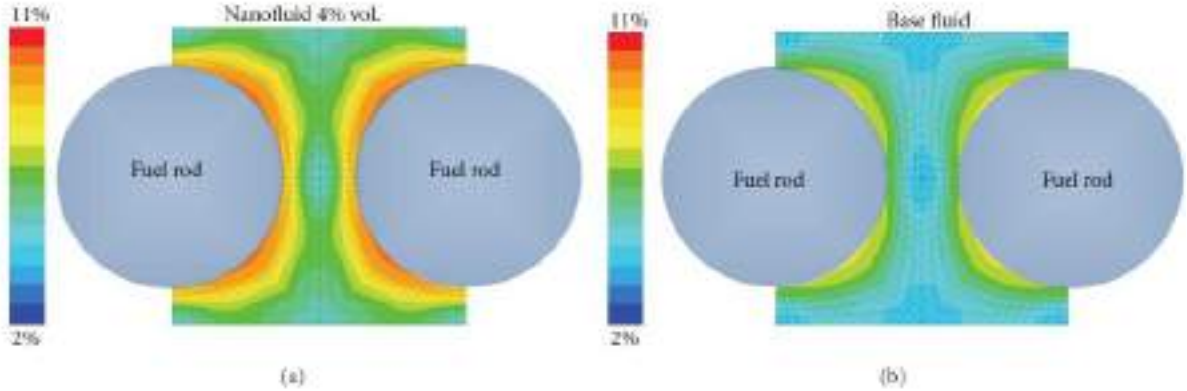
Bianco vd. (Bianco vd., 2011) sabit duvar ısı akısı verilen kare bir tüp içindeki bir $Al_2O_3$ –su nanoakışkanın türbülanslı zorlanmış taşınım akışını sayısal olarak modellemişlerdir. Optimal çalışma koşulunu bulmak için entropi üretim analizi de yaparak sonuçları nümerik hesaplamalarla karşılaştırmışlardır. Optimum Reynolds sayısını, minimum entropi oluşumunu belirlemiş ve sonuçların birbiriyle uyum içerisinde olduğunu görmüşlerdir.

Ahmed vd. (Ahmed vd.,2011)iki boyutlu dalgalı kanaldaki laminer akışta bakır-su nanoakışkanının ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Dalgalı kanalın genliği arttıkça sürtünme katsayısının ve Nusselt sayısının da arttığını görmüşlerdir. Buna ek olarak, ısı transferindeki artışın ağırlıklı olarak dalga boyundan ( $L_w$) ziyade nanoparçacık hacim konsantrasyonuna, dalgalı duvarın genlik derecesine ve Reynolds sayısına bağlı olduğunu bulmuşlardır.

Mohammed vd. (Mohammed vd., 2012) türbülanslı nanoakış akışının termal ve hidrodinamik özellikleri sayısal olarak inceledikleri çalışmalarında dikdörtgen, üçgen ve trapez şeklinde olmak üzere üç farklı oluk şekli olan kanal geometrisi ve farklı hacim konsantrasyonlarında farklı nanoakışları ($Al_2O_3$, CuO, $SiO_2$ , ZnO) incelemişlerdir. Sonuçta dikdörtgen yiv-üçgen oluğun, diğer yiv oyuğu şekilleri arasında en yüksek Nusselt sayısına sahip olduğunu, $SiO_2$ nanoakışının diğer nanoakış türlerine kıyasla en yüksek Nusselt sayısına sahip olduğunu ve Nusselt sayısının nanoparçacık hacim konsantrasyonu, Reynolds sayısı ve en/boy oranı arttıkça arttığını nanoparçacık çapının arttıkça da azaldığını belirtmişlerdir.

Nazififard vd. (Nazififard vd., 2012) tipik bir basınçlı su reaktörünün alt kanalında $Al_2O_3$ –su nanoakışının türbülanslı zorlanmış taşınım akışını sayısal olarak analiz etmişler ve elde ettikleri sonuçlara göre nanoparçacık hacim konsantrasyonları ile ısı transferinin arttığını ve en yüksek ısı transferinin her konsantrasyon için, en yüksek Reynolds sayısına karşılık geldiğini görmüşlerdir. Alt kanalındaki $Al_2O_3$ –su

nanoakışının basınç düşümünün ise hacim konsantrasyonu arttıkça arttığını ortaya koymuşlardır. Analiz sonucu elde edilen tütbülans yoğunluğu şekil 5 verilmiştir.




**Şekil 5: Nanoakışkan ve Suyun Türbülans Yoğunluğu**

Gavtash vd. (Gavtash vd., 2012) Nanoparçacık yoğunluğunun ve boyutunun ısı transferi üzerine etkisini sayısal olarak incelemişler ve parçacık konsantrasyonu arttıkça ve parçacık yarıçapı azaldıkça ısı transferinin düştüğü sonucuna varmışlardır.

Fathinia vd. (Fathinia vd., 2012) iki boyutlu bir kanaldaki türbülanslı zorlanmış akışı farklı yükseklik oranları için sayısal olarak incelemişlerdir. Sonuçta, hacim fonksiyonun %4 ve nanoparçacık çapının 20 nm olduğu $SiO_2$ nanoparçacık kullanılan kanalda ısı transferinin %114 oranında arttığını tespit etmişlerdir.

Manay vd. (Manay vd.,2012) mikrokanalların içerisinde nanoakışkanlar kullanılarak elde edilen kararlı ve homojen yapının cidarlarda tıkanmaya yol açmayacağını ve aynı zamanda türbülans sağlayarak, ısıl iletkenliklerinin yüksek olması ile daha iyi bir ısı transferi elde edileceğini belirtikleri çalışmalarında parçacıkların varlığının kanallar içerisinde basınç düşümüne neden olabileceğini söylemişlerdir. Kanal yüzeyi ile nanoakışkan arasındaki sıcaklık farkını azaltarak ısıl direncin azalmasını ve sonuç olarak soğutma sanayide yaygın olarak kullanılan mikro kanallarda nanoakışkan kullanılmasının ısı transferini iyileştireceğini belirtmişlerdir.

Naraki vd. (Naraki vd.,2013) otomobil radyatörünün ısı transfer performansını, geleneksel ε-NTU tekniğine göre hesapladığı toplam ısı transfer katsayısını kullanarak deneysel olarak değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, nanoakışkanların ısı transfer katsayısının suya kıyasla %9'a daha fazla olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca, nanoparçacık konsantrasyonunun arttırılmasının, hava hızını ve nanoakışkanın ısı transfer katsayısını arttırdığını görmüşlerdir Giriş sıcaklığının artırılmasıyla da ısı transfer katsayısının düştüğünü kaydetmişlerdir.

Kabeel vd. (Kabeel vd., 2013) su-$AL_2$ $O_3$ nanoakışkanını kullanarak plakalı ısı eşanjörü için ısı transfer özelliklerini incelemişlerdir. Nanoparçacık konsantrasyonunun arttırılmasıyla hem ısı transfer katsayısında hem de aktarılan güçte belirgin bir artış gözlenlenmiştir. Reynolds sayısı ve nanoakış konsantrasyonun artmasıyla basınç düşüşü ve bunun sonucu olarak da pompala gücünün arttığını belirtmişlerdir.

Mohammed vd. (Mohammed vd., 2013) dairesel çift borulu ısı eşanjörüne yerleştirilen engellerin ısı transferi üzerine etkisini sayısal yöntemler ile incelemişlerdir. Farklı Reynolds sayısı aralığı, farklı hacim konsantrasyonları, farklı çaplardaki nanoparçacıklarına sahip nanoparçacıkların ($AI_2O_3$, CuO, $SiO_2$, ZnO) kullanıldığı çalışma sonucunda nanoparçacık çapının küçülmesi ve hacim fonksiyonun artmasıyla Nusselt sayısının arttığını görmüşlerdir.

Ho ve Chen (Ho ve Chen, 2013) bir kanalda soğutucu olarak suyun yerine $AI_2O_3$ –su nanoakışkanın kullanıldığı zorlanmış taşınımda ısı transferini araştırmak için deneyler yapmışlardır. Kanalların hidrolik ve termal performanslarını, pompalama güçlerini gösteren sonuçları değerlendirip saf su ile karşılaştırmışlardır ve ortalama ısı transfer katsayısının %35 ve %72 oranında arttığını görmüşlerdir.

Tiwari vd. (Tiwari vd., 2013) deneysel araştırmalarını, $CeO_2$-su nanoakışkanını kullanan plakalı ısı eşanjöründeki ısı transferi ve basınç düşüşü üzerine yapmışlardır. Nanoakışkanların optimum konsantrasyonda ısı transferini iyileştirirken basınç düşüşünde ihmal edilebilir bir artış olduğunu belirtmişlerdir.

Duangthongsuk vd. (Duangthongsuk vd., 2013) $AI_2O_3$ – su içeren nanoakışkanı kullanarak yaptıkları deney sonucunda, nanoakışkanların ısı transfer katsayısının suyunkinden düşük olduğunu ve konsantrasyon yüksek olduğunda azalma eğiliminde olduğunu görmüşlerdir.

Bedir (Bedir, 2013) nanoakışkanın hacim oranının artmasıyla ısı transfer katsayısının ve basınç kaybının arttığını saptamıştır. Yaptığı çalışmada uniform ısı akılı bir boruda CuO ve $Al_2O_3$ içeren iki farklı nanoakışkanın zorlanmış türbülanslı akışını ve ısı transfer karekteristiklerini sayısal olarak incelemiştir. Her iki nanoakışkan tipinde de suya göre ısı transferinin arttığı sonucuna varmıştır. CuO-su nanoakışkanın ısı transfer yüzeyi daha büyük olduğu için $Al_2O_3$-su nanoakışkanına göre ısı transfer katsayısındaki artış daha fazla olduğunu söylemiştir.

Elçioğlu (Elçioğlu,2013) ısıl iletkenliklerinden dolayı ısı transfer uygulamalarında üstünlükleri olduğu kabul edilen nanoakışkanların viskozitesinin iş yapan akışkandan daha yüksek olmasından dolayı çeşitli dezavantajları olduğunu belirtmiştir. Pompa gücünü direk olarak etkileyen viskozitenin artışı işletme maliyet artışlarını da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle nanoakışkan viskozitesini teorik, deneysel ve istatistiksel analizler ile incelemiştir. Tez çalışmasının sonucunda $Al_2O_3$–su nanoakışkanının viskozitesinin parçacık boyutu ile arttığını, değişen sıcaklıklık ile üstel azaldığını göstermiş ve nanoakışkan viskozitesi ve bağıl viskozite için birer korelasyon ifade etmişlerdir.

Azari vd. (Azari vd., 2014) çalışmalarında, homojen ve sabit ısı akısı altında dairesel bir tüpte $AI_2O_3$ - su nano akışkanının laminer taşınım ısı transfer katsayısının tek fazlı (CP-SP) model, değişken fiziksel özellikler tek fazlı (VP-SP) model ve ayrı parçacıklar iki fazlı model de dahil olmak üzere üç farklı model geliştirmişlerdir. Elde ettikleri simülasyon sonuçlarına göre, nanoakışkanların termal performansının baz sıvının termal performansından daha yüksek olduğunu ve parçacık hacmi konsantrasyonu ve Reynolds sayısı ile ısı transferinin arttığını ve VP-SP modeli ve iki fazlı model durumunda yüksek ısı transfer katsayıları hesaplamışlardır.

Borazjani vd. (Borazjani vd., 2014) karşıt akışlı bir ısı eşanjörün de $AL_2\ O_3$ – su içeren nanoakışların zorlanmış taşınımını sayısal olarak incelemişlerdir. Nanoakışının hidrodinamik ve termal davranışlarını incelemek için yaptıkları çalışmalarının sonucunda, Reynolds sayısının artmasıyla ısı akısının ve basınç düşüşünün arttığını ve ayrıca, ısı eşanjörünün iç borusunda temel akışkanına (su) $AL_2\ O_3$ nanoparçacıkların eklenmesi, enerji verimliliği oranının arttırdığını ve pompalama gücünün azalttığını belirlemişlerdir.

Teymur (Teymur, 2015) nanoakışkanların sabit basınç grandyanı altında izotermal olmayan kanalda ki akışını incelemiştir. Çalışmasının sonucunda hacimsel konsantrasyonun arttıkça nanoakışkan viskozitesinin arttığını ve viskozitenin artmasıyla da akış hızının azalıp böylece gerilmenin de arttığını görmüştür. Ayrıca hacimsel konsantrasyonun artışı da hız profilinin ve basınç gradyanın artmasına neden olduğunu belirtmiştir.

Mohamad (Mohamad,2015) nanoakışkanların ısı transferi iyileştirmek için kullanılmasının fizik kurallarına çokta uygun olmadığını belirttiği makalesinde temel akışkana nanoparçacık eklenmesinin (akışkanın yoğununa kıyasla) kaldırma kuvveti ve doğal konveksiyonu azaltacağını savunmuştur. Ayrıca nanoparçacıkların eklenmesi sonucu etkin viskoziteyi artıracağı bununda zorlanmış taşınım ve basınç düşüşünü olumsuz etkileyeceğini ve bu parçacıkların yüzeylere çarpması sonucu erozyonların artabileceği belirtmiştir.

## SONUÇ

Bu makale de ısı transferini iyileştirmek için nanoakışkanların kullanımı üzerine deneysel, sayısal ve analitik olarak son zamanlarda yapılan çalışmalar derlenmiştir. Çalışmaların bir kısmında nanoakışkanlar tek fazlı ele alınırken bir kısmında iki fazlı olarak ele alınmıştır. Parçacık boyutu, viskozite, termal iletkenlik ve daha birçok termofiziksel özelliğin ısı transfer mekanizması ve akış karakteristikleri üzerine etkisi araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Genel bulgular ısı transferini artırmak için nanoakışkanlar kullanılması yönünde olsa da araştırmacıların bazıları nanoakışkanların ısı transferini artırmadığı hatta azalttığını belirtmişlerdir (Mohamad,2015). Bu bağlamda nanoakışkanların ısı transferini iyileştirmesi konusunda devam eden tartışmalar söz konusudur (Haddad vd., 2012). Sayısal sonuçların çoğunda geleneksel akışkanlara göre nanoakışkanların ısı transferini artırdığı iddia edilse de deney sonuçları her zaman bunu doğrulamamaktadır. Nano parçacıkların ısı transfer mekanizmaları ve akış karakteristiklerini anlamak için daha fazla deneysel ve teorik çalışmalara ihtiyaç olduğunu ve yapılacak çalışmalarda parçacık ve temel akışkan arasındaki kayma hızı, nanoakışkanların ısı transfer performansı üzerinde önemli rol oynadığından nanoakışkanların tek değil iki fazlı akış olarak incelenmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

Bergles, A.E., 1983. Augmentation of Heat Transfer. Heat Exchanger Design Handbook. Hemisphere Publishing Co., Washington DC.

Maxwell, J.C., A treatise on electricity and magnetism, unabridged 3rd ed., Clarendon Press, Oxford, UK, 1891.

Murshed, S.M.S., Leong, K.C., Yang, C., Thermophysical and elektrokinetic properties of nanofluids-A critical review, Applied Thermal Engineering, 28, 2109-2125, 2008.

Choi, S.U.S., Eastman, J.A., Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, ASME International Mechanical Engineering Congress& Exposition, San Fransisco, CA. 1995.

Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Yu, W., Thompson, L. J., Anomalously increased effective thermal conductivity of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, Appl. Phys. Lett., 78, 718-720, 2001.

Keblinski, P., Phillpot, S.R., Choi, S.U.S., Eastman, J.A., Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-sized particles (nanofluids), International Journal of Heat and Mass Transfer, 855–863, 2002

Kostic, M., Vijay Kumar Sankaramadhi, and Kalyan Chaitanya Simham. "New educational lab: Measurement and uncertainty evaluation of nanofluid particle concentration using volumetric flask method." *American Society for Engineering Education*. 2006.

B.Şahin, K.Çomaklı, M.Yılmaz, Ö.Çomaklı, Nanoakışkanlarla ısı transferinin iyileştirilmesi, Mühendis Makina, Sayı: 559, 2006, 29–34

KULKARNI, Devdatta P.; NAMBURU, Praveen K.; DAS, Debendra K. Comparison of Heat Transfer and Fluid Dynamic Performance of Nanofluids.

Artuç, M. (2007), Nanoakışkanların Isıl İletkenliklerinin Ölçülmesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara

VAJJHA, Ravikanth S.; DAS, Debendra K. Measurements of Specific Heat and Density of Al 2 O 3 Nanofluid. In: *AIP Conference Proceedings*. AIP, 2008. p. 361-370.

VAJJHA, R. S.; DAS, D. K.; MAHAGAONKAR, B. M. Density measurement of different nanofluids and their comparison with theory. *Petroleum Science and Technology*, 2009, 27.6: 612-624.

Bianco, V., Chiacchio, F., Manca, O., & Nardini, S. (2009). Numerical investigation of nanofluids forced convection in circular tubes. *Applied Thermal Engineering*, *29*(17), 3632-3642.

Gedik, G. (2009) Nanoakışkanların Isı Transferi ve Basınç Düşüşünün Belirlenmesi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Erzurum

Ding, Z. W., Cheah, S. C., & Saeid, N. H. (2009, December). Parametric study of heat transfer enhancement using nanofluids. In *Energy and Environment, 2009. ICEE 2009. 3rd International Conference on* (pp. 294-298). IEEE.

Kakaç, S., & Pramuanjaroenkij, A. (2009). Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *52*(13), 3187-3196.

Dominguez-Ontiveros, E., Fortenberry, S., & Hassan, Y. A. (2010). Experimental observations of flow modifications in nanofluid boiling utilizing particle image velocimetry. *Nuclear Engineering and Design*, *240*(2), 299-304.

Özerinç, S., (2010), Heat transfer enhancement with nanofluids, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, Ankara

Timofeeva, E. V., Yu, W., France, D. M., Singh, D., & Routbort, J. L. (2011). Nanofluids for heat transfer: an engineering approach. *Nanoscale research letters*, *6*(1), 182.

Demir, H., Dalkilic, A. S., Kürekci, N. A., Duangthongsuk, W., & Wongwises, S. (2011). Numerical investigation on the single phase forced convection heat transfer characteristics of TiO 2 nanofluids in a double-tube counter flow heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *38*(2), 218-228.

Abu-Nada, E., & Oztop, H. F. (2011). Numerical analysis of Al2O3/water nanofluids natural convection in a wavy walled cavity. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, *59*(5), 403-419.

Ahmed, M. A., Shuaib, N. H., Yusoff, M. Z., & Al-Falahi, A. H. (2011). Numerical investigations of flow and heat transfer enhancement in a corrugated channel using nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *38*(10), 1368-1375.

Saterlie, M., Sahin, H., Kavlicoglu, B., Liu, Y., & Graeve, O. (2011). Particle size effects in the thermal conductivity enhancement of copper-based nanofluids. *Nanoscale research letters*, *6*(1), 217.

Hosseini, S. S., Shahrjerdi, A., & Vazifeshenas, Y. (2011). A review of relations for physical properties of nanofluids. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *5*(10), 417-435

Sasmito, A. P., Kurnia, J. C., & Mujumdar, A. S. (2011). Numerical evaluation of laminar heat transfer enhancement in nanofluid flow in coiled square tubes. *Nanoscale research letters*, *6*(1), 376.

Bianco, V., Nardini, S., & Manca, O. (2011). Enhancement of heat transfer and entropy generation analysis of nanofluids turbulent convection flow in square section tubes. *Nanoscale research letters*, *6*(1), 252.

Ahmed, M. A., Shuaib, N. H., & Yusoff, M. Z. (2012). Numerical investigations on the heat transfer enhancement in a wavy channel using nanofluid. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *55*(21), 5891-5898.

Mohammed, H. A., Al-Shamani, A. N., & Sheriff, J. M. (2012). Thermal and hydraulic characteristics of turbulent nanofluids flow in a rib–groove channel. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *39*(10), 1584-1594.

Nazififard, M., Nematollahi, M., Jafarpur, K., & Suh, K. Y. (2012). Numerical simulation of water-based alumina nanofluid in subchannel geometry. *Science and Technology of Nuclear Installations*, *2012*.

Gavtash, B., Hussain, K., Layeghi, M., & Lafmejani, S. S. (2012). Numerical simulation of the effects of nanofluid on a heat pipe thermal performance. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, *68*, 549-555.

Fathinia, F., Parsazadeh, M., & Heshmati, A. (2012, December). Turbulent Forced Convection Flow in a Channel over Periodic Grooves Using Nanofluids. In *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*(No. 72, p. 1217). World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET)

Manay, E., Sahin, B., Akyürek, E.F., Comaklı, Ö., Mikrokanallarda Nanoakışkanların Kullanımı, Mühendis ve Makine, Cilt: 53, Sayı: 627, 2012, 38-42.

Haddad, Z., Oztop, H. F., Abu-Nada, E., & Mataoui, A. (2012). A review on natural convective heat transfer of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(7), 5363-5378.

Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., Naraki, M., & Vermahmoudi, Y. (2013). Experimental study of overall heat transfer coefficient in the application of dilute nanofluids in the car radiator. *Applied Thermal Engineering*, *52*(1), 8-16.

Kabeel, A. E., El Maaty, T. A., & El Samadony, Y. (2013). The effect of using nano-particles on corrugated plate heat exchanger performance. Applied Thermal Engineering, 52(1), 221-229.

Mohammed, H. A., Hasan, H. A., & Wahid, M. A. (2013). Heat transfer enhancement of nanofluids in a double pipe heat exchanger with louvered strip inserts. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *40*, 36-46.

Ho, C. J., & Chen, W. C. (2013). An experimental study on thermal performance of Al 2 O 3/water nanofluid in a minichannel heat sink. *Applied Thermal Engineering*, *50*(1), 516-522.

Tiwari, A. K., Ghosh, P., & Sarkar, J. (2013). Heat transfer and pressure drop characteristics of CeO 2/water nanofluid in plate heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, *57*(1), 24-32.

Duangthongsuk, W., Yiamsawasd, T., Selim Dalkilic, A., & Wongwises, S. (2013). Pool-Boiling Heat Transfer Characteristics of Al2O3-Water Nanofluids on a Horizontal Cylindrical Heating Surface. *Current Nanoscience*, *9*(1), 56-60.

Bedir, Ö. (2013), Sabit Isı Akılı Yatay Bir Boruda Türbülanslı Akışta Nanoakışların Sayısal İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum

Elçioğlu, E.B., Experimental and theoretical investigations on alümina–water nanofluid viscosity with statistical analysis, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Ankara, 2013.

Azari, A., Kalbasi, M., & Rahimi, M. (2014). CFD and experimental investigation on the heat transfer characteristics of alumina nanofluids under the laminar flow regime. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, *31*(2), 469-481.

Borazjani, M. S., Bamdad, M., & Hashemi, R. (2014). Numerical investigation on the single phase forced convection heat transfer characteristics of Al2o3 nanofluids in a

double-tube counter flow heat exchanger. *International Journal of Basic Sciences and Applied Research*, *3*, 266-273.

Teymur, B. (2015),İzotermal Olmayan Kanal Akışında Nanoakışkanların Sayısal Olarak İncelenmesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Mohamad, A. A. (2015). Myth about nano-fluid heat transfer enhancement. International Journal of Heat and Mass Transfer, 86, 397-403.

# MECHANICAL PROPERTIES OF STEAM CURED CONCRETE INCORPORATING QUARRY DUST

Didar Yasin NAJMADDIN
G. Directory of Projects/Ministry of Higher Education and Scientific Research-KRG/Iraq, didar.najmaddin@mhe-krg.org

Ayşe Yeter GÜNAL
Department of Civil Engineering, Gaziantep University, Turkey, agunal@gantep.edu.tr

**ABSTRACT**: The research deals with reusing waste material in engineering application and performance of alternative method of curing for gaining hardened concrete. Steam curing at atmospheric pressure is an important technique for obtaining high early strength values in concrete production. It also aids in faster and safer construction as sufficient strength is attained in short period and maintained without any other forms of curing. Concrete types, as well as curing period and temperature are important parameters in the steam-curing process. The strength development depends on steam curing cycle. The parameters involved in a steam curing cycle include a delay period, a gradual increase to a temperature where it is to be maintained for a specific curing period followed by gradual cooling. Quarry dust has been identified as possible replacement for sand in concrete works. Crushed rock aggregate quarrying generates considerable volumes of quarry fines, often termed "quarry dust". The finer fraction is usually smaller than 5mm in size. In this study, samples of concrete were made using varying contents of quarry dust as fine aggregate. The quantity of quarry dust was varied from 0% to 60% against quarry dust at intervals of 10%. For each mix, specimens were standard-cured in a water bath of room temperature and steam-cured at 70◦C maximum temperature over 24 h. And the specimens tested for compressive and flexural strength of the concrete and the results were satisfactory.

**Key words:** Quarry dust (waste material), Steam curing, Compressive strength, Flexural strength

## INTRODUCTION

In recent years, using waste materials were developed in engineering applications. Concrete is one of the most common construction materials. Cast-in-situ concrete and precast concrete are two techniques that housing developers and construction workers

often adopt. However, precast concrete members have been increasingly utilized in civil engineering construction in recent years due to their advantages: reliable quality assurance, simple production process, faster construction speed, and environmentally friendly building operations. Currently available information indicates that the technique of steam curing is the most frequently employed technique among various production processes of prefabricated members. The benefits of steam curing (SC) are as follows: simple process, convenient operation, production with high early strength, short production cycle, and superior economic benefits. The steam curing process includes the following four stages: the pre-curing stage, the heating stage, the thermostatic stage, and the cooling stage. (Long, and Omran, 2012). The advantages of utilization of by-products or aggregates obtained as waste materials are pronounced in the aspects of reduction in environmental load & waste management cost, reduction of production cost as well as improving the quality of concrete. Quarry dust has been used for different activities in the construction industry such as road construction and manufacture of building materials such as light weight aggregates, bricks, and tiles. The present research deals with the influence of different replacement proportion of sand with quarry dust and type of curing on the properties of hardened concrete. This research is planned to study the effects of quarry dust addition in water cured (WC) and steam cured (SC) concrete and to assess the rate of compressive and flexural strength development. The aim and objectives of this research is; 1) to use quarry dust as the fine aggregate to decreases the cost of concrete production. 2) to investigate some properties of quarry dust and the suitability of those properties to enable quarry dust to be used. 3) to observe the effect of steam curing in concrete with partially replaced quarry dust.

## EXPERIMENTAL PROGRAM & METHODOLOGY

The experimental program consists of casting and testing of cubes and prisms, to study the compressive strength and flexural strength by replacement of natural fine aggregate with quarry dust aggregate, for 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% and 60% of quarry dust, for each point change in compressive strength and flexural strength is studied with steam curing.

### Cube and Prism Specimens Description

In this study cubes were tested with compressive strength machine at the rate of 500kN/min. In all cubes the cross section was 150*150*150 mm .Also beams were tested with flexural strength machine at the rate of 5.0mm/min. In all beams, the cross section was 150mm wide and 150 mm in depth, the overall length was 500mm with clear span 400mm.The beams were tested under a point load at the center of the beam.

**Properties of materials**

***Cement***

The cement which is used from Mass Company, it was ordinary Portland cement (OPC) type-1.The chemical composition and physical properties are shown in Table 1 and table 2.Its properties are conformed to the ASTM C150-00.

**Table 1. Chemical properties of cement**

| **Chemical Requirements** | **ASTM C150-00** |
|---|---|
| | **TEST RESULT** |
| Sulfate Content(as S03) % | 2.43 |
| loss on ignition (Lol) % | 1.30 |
| Calcium Oxide (Cao) % | 64.23 |
| Magnesium Oxide (as Mgo) % | 1.65 |

**Table 2. Physical properties of cement**

| **Physical requirements** | | **ASTM C150-00** |
|---|---|---|
| | | **TEST RESULT** |
| initial setting time | min | 130 |
| Final setting time | hour | 3:05 |
| (Blaine) Finesse | $cm^2/g$ | 3780 |
| Soundness(expansion) | mm | 0.0 |
| Compressive strength is not less than(MPa) | 3 days | 15 |
| | 28 days | 43.5 |

***Quarry Dust***

The quarry dust is the residue of particles in the size range of 0 – 4.75mm. Table 3 shows the properties of quarry dust. And the sieve analysis of the aggregate is shown in figure 1.

Table 3. Properties of quarry dust

| properties | Quarry dust |
|---|---|
| Specific gravity | 2.62 |
| water absorption | 2.1% |
| density | 1720 kg/m3 |

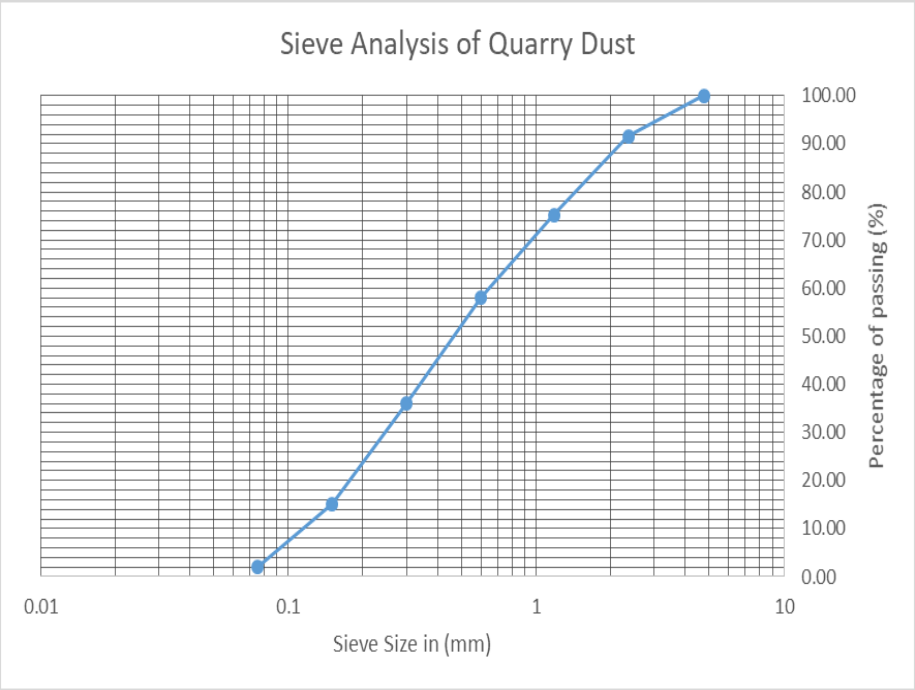



Figure1. Sieve analysis of quarry dust

*Fine Aggregate*

The fine aggregate was river sand. Its properties are shown in table 4 below and its sieve analysis is shown in figure 2.

Table 4. Properties of fine aggregate

| Properties | Fine aggregate |
|---|---|
| Specific gravity | 2.66 |
| water absorption | 1.15 % |
| Density | 1650 kg/m$^3$ |

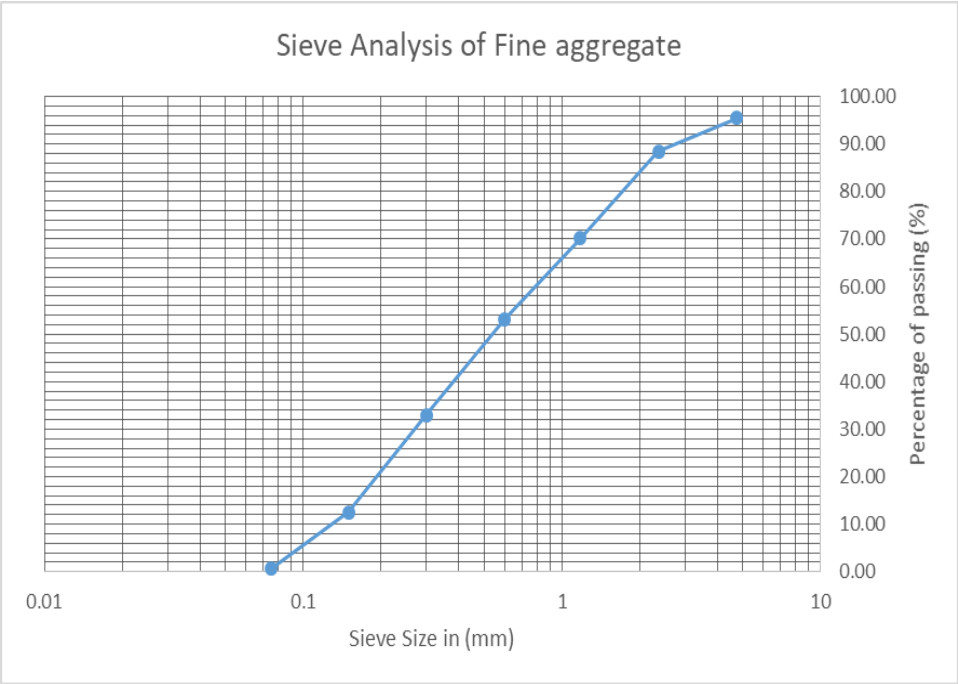



Figure 2. Sieve analysis of fine aggregate

*Coarse Aggregate*

The coarse aggregate was natural aggregate with maximum size of 22mm. Its properties are shown in table 5 below and its sieve analysis is shown in figure3.

**Table 5. Properties of coarse aggregate**

| Properties Coarse aggregate | Coarse aggregate |
|---|---|
| Specific gravity | 2.71 |
| water absorption | 0.63% |
| density | 1673 kg/m3 |

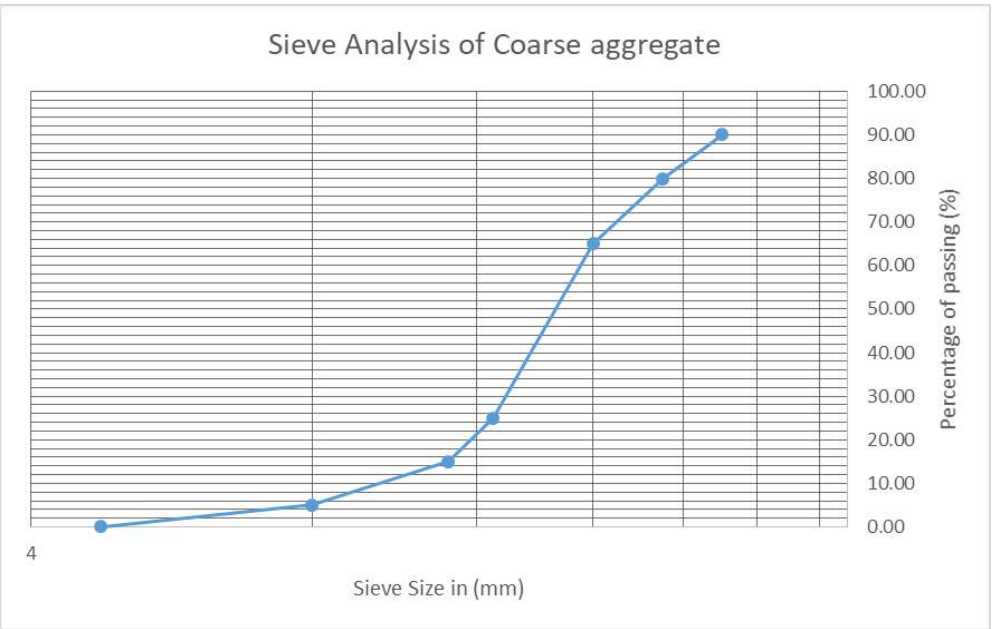



Figure 3. Sieve analysis of coarse aggregate

***Water***

Ordinary drinking water was used for mixing and curing of concrete.

**Concrete Mix Design**

In this study M25 grade is used for mix design. The mixing procedure is important for obtaining the required workability. The amount of material used for one meter cubic is specified in table 6 for replacement of Quarry dust (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% and 60%).

Table 6: Mix proportion

| **Replacement %** | **water kg/m³** | **Cement kg/m³** | **Fine Agg. kg/m³** | **Quarry dust kg/m³** | **Coarse Agg. kg/m³** |
|---|---|---|---|---|---|
| 0% | 200 | 550 | 636 | 0 | 1230 |
| 10% | 200 | 550 | 569 | 67 | 1230 |
| 20% | 200 | 550 | 502 | 134 | 1230 |
| 30% | 200 | 550 | 435 | 201 | 1230 |
| 40% | 200 | 550 | 368 | 268 | 1230 |
| 50% | 200 | 550 | 301 | 335 | 1230 |
| 60% | 200 | 550 | 234 | 402 | 1230 |

## Curing Process

Two different methods of curing were applied in this research for each series, namely standard water curing (WC) and steam curing (SC). As usual, in WC the concrete samples are demolded 24 h after casting and then kept in water at 20 ± 2 C until the date of testing. However, in steam-curing condition, fresh specimens within the molds were placed in the steam chamber in which they were subjected to the heat treatment cycle shown in Figure 4. In this research, the steam curing cycle had a total duration of 24 h including 2 h of preheating, 3 h of heating until reach the maximum temperature which is selected as 70 ± 1 C and keeping the temperature stable for 17 h and finally cooling of the chamber which takes 1 h. The humidity in steam curing chambers was about 95 ± 2%. The samples were demolded and placed in water at 20 chambers was about 95 ± 2%. The samples were demolded and placed in water at 20 ± 2 C till the age of testing.

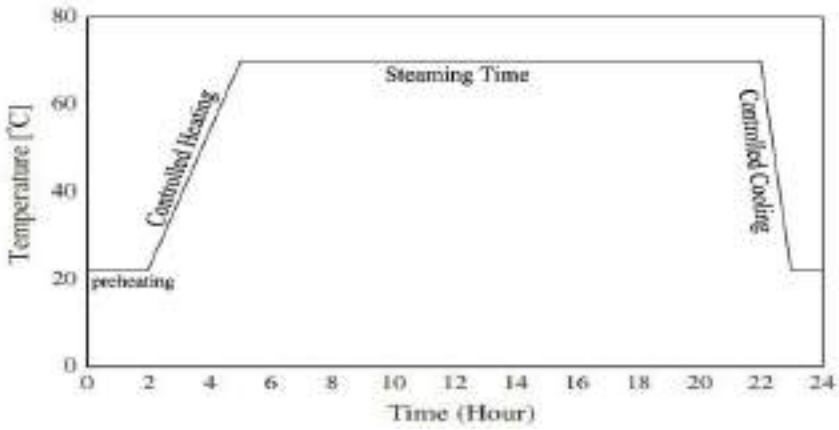



Figure 4. Steam Curing Cycle

## Hardened properties of concrete

### *Compressive Strength*

Compressive strength of concrete depends on many factors such as water-cement ratio, cement strength, quality of concrete material, and quality control during production of concrete etc. Test for compressive strength is carried out on cube. Various standard codes recommends concrete cube as the standard specimen for the test. American Society for Testing Materials ASTM C39/C39M provides Standard Test Method for Compressive Strength of cube test of specimens cubes of 15 cm X 15 cm X 15 cm .For most of the works cubical molds of size 15 cm x 15cm x 15 cm are commonly used. This concrete is poured in the mold and tempered properly so as not to have any voids. After 24 hours these molds are removed and test specimens are put in water for curing. These specimens are tested by compression testing machine after1, 3, 14 days curing or 28 days curing. Load should be applied gradually at the rate of 140 kg/cm2 per minute till the Specimens fails. Load at the failure divided by area of

specimen gives the compressive strength of concrete. Then comparison was done between the companion concretes in SC and WC.

***Flexural Strength***

The flexural test on concrete can be conducted using center point load test (ASTM C293).According to ASTM the size of the specimen is 150mm width, 150mm depth and the length should not be at least three times the depth of the specimen. The size of the mold 150mm width, 150mm depth, and span of 500mm for the specimen. The test should be conducted on the specimen immediately after taken out of the curing condition so as to prevent surface drying which decline flexural strength. Place the specimen on the loading point. The hand finished surface of the specimen should not be in contact with loading points. This will ensure an acceptable contact between the specimen and loading points. Center the loading system in relation to the applied force. Loading the specimen continuously without shock till the point of failure at a constant rate of 400 Kg/min for 150mm specimen, stress increase rate 0.06+/-0.04N/mm2.

## RESULT AND DISCUSSION

### Development of Compressive Strength with age

The variations of compressive strengths of concrete with steam cured and water cured concrete for different replacement of quarry dust on concrete presented in Figures 5 and 6. It may be concluded from the Figure 5 that increasing quarry dust content in replacement of sand causes an increase in compressive strength values. Furthermore, at all quarry dust replacement levels, compressive strength of steam cured specimens is more than the water-cured specimen. As illustrated in Figure 5 increase in compressive strength occurred with increasing the level of replacement of quarry dust. Early age (1 and 3 days) and later age (14 and 28 days) compressive strength values of SC concretes were very close to each other, while significant differences were observed for WC cured concretes. The highest 1 day compressive strength of 41.62 MPa was observed for SC at 60% quarry dust while the lowest was observed at WC at 0% quarry dust replacement as 12.05 MPa. SC showed higher enhancement in compressive strength development than WC. However, for later ages compressive strength was not significantly different between the WC and SC The experimental results indicated that by increasing percentage of Quarry dust, the compressive strength of the concretes is increased. The results is also achieved by Pratik Deogekar, Ashwini Jain, Sudhanshu Mishra, Prakash Nanthagopalan according to them the increase in early compressive strength for the steam cured concrete over the normal cured concrete With the progress of time, the difference in compressive strength between steam cured concrete and normal cured concrete was seen to reduce implying that a greater percentage of the 28 day compressive strength was attained in case of steam curing after 0.5 days than in case of normal cured concrete. (Deogekar et al , 2013).

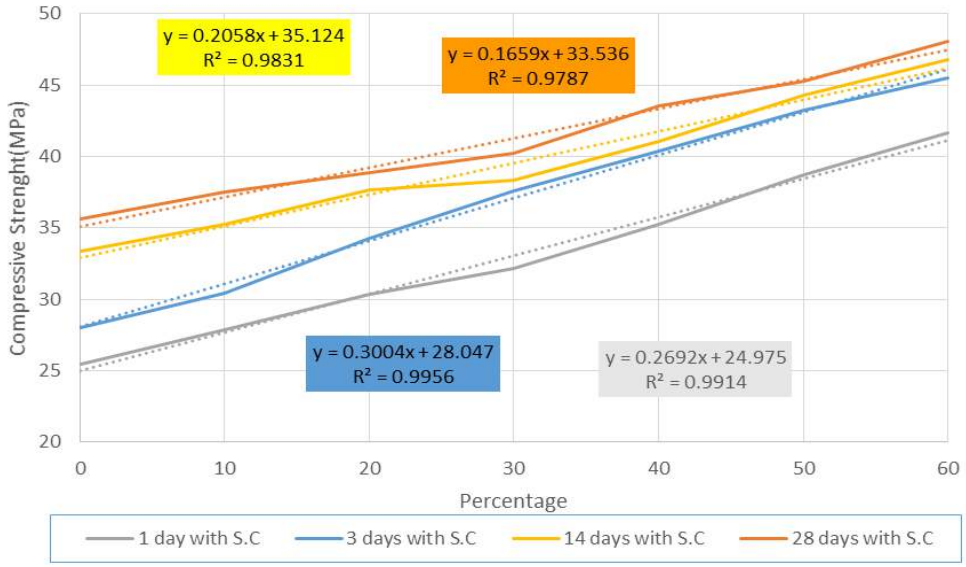



Figure 5. Compressive strength subjected to steam curing (SC) at different ages

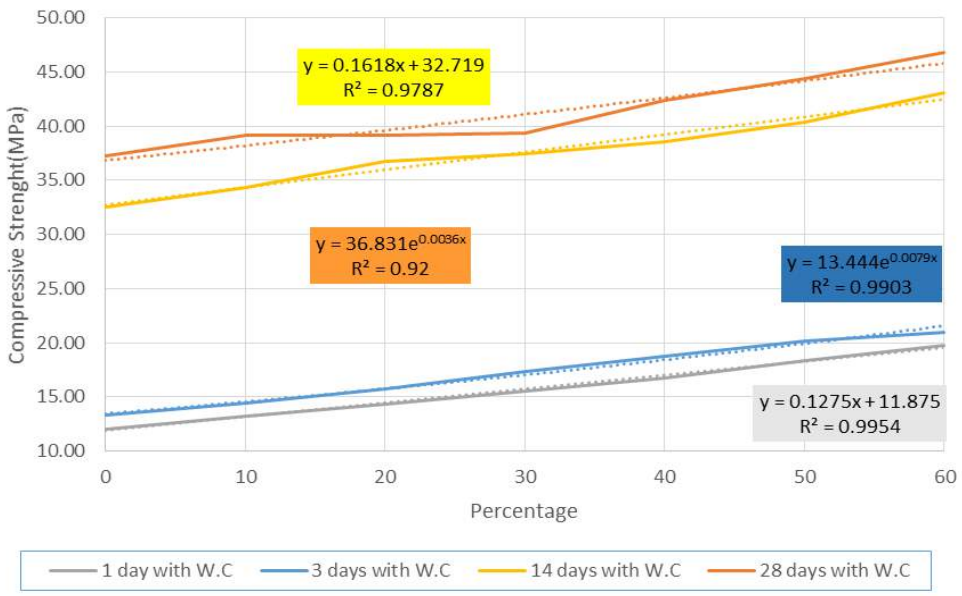



Figure 6. Compressive strength subjected to water curing (WC) at different ages

**Development of Strength for Flexural strength**

Figure 7 and 8 Show how the concrete develop strength with age for Steam cured concrete and water cured concrete. The use of quarry dust improved the flexural strength results from control at nearly all testing ages for water and steam curing. The concretes subjected to steam curing had higher flexural strength than Water curing which is illustrated in figure 7 and 8.The steam-cured concretes showed 48.8 % higher 3-day flexural strength than their Water-cured s due to the increasing the hydration in concrete by applying steam curing .Steam-cured concretes achieved higher flexural strength than those from water-cured concretes at all ages of curing. At Early age (3 days) the strength development of the steam cured concrete is about 45-50% higher than W and at later ages (14 and 28 days) compressive strength values of SC and WC concretes were very close to each other.

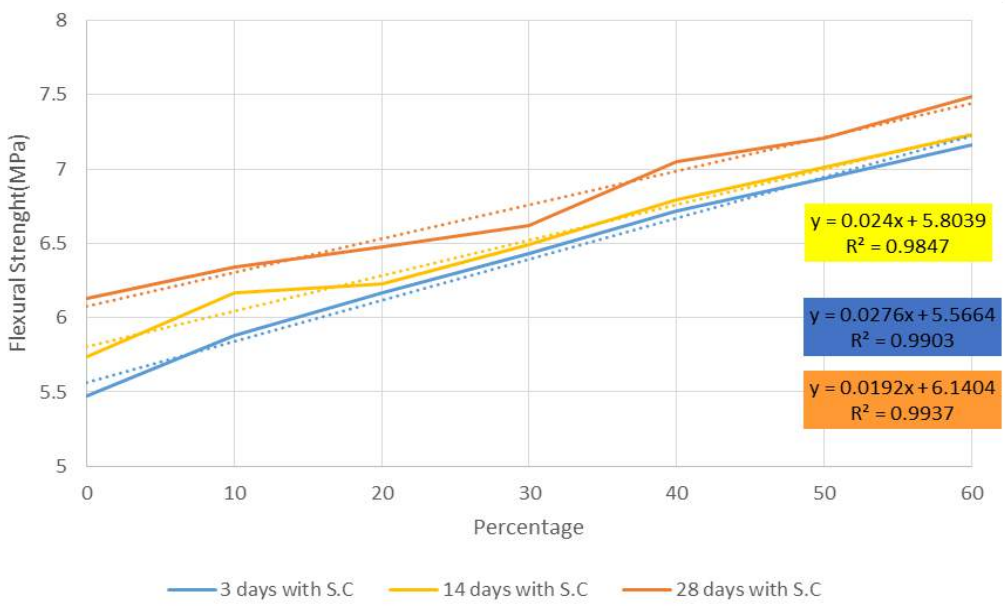



Figure 7. Flexural strength subjected to steam curing (SC) at different ages

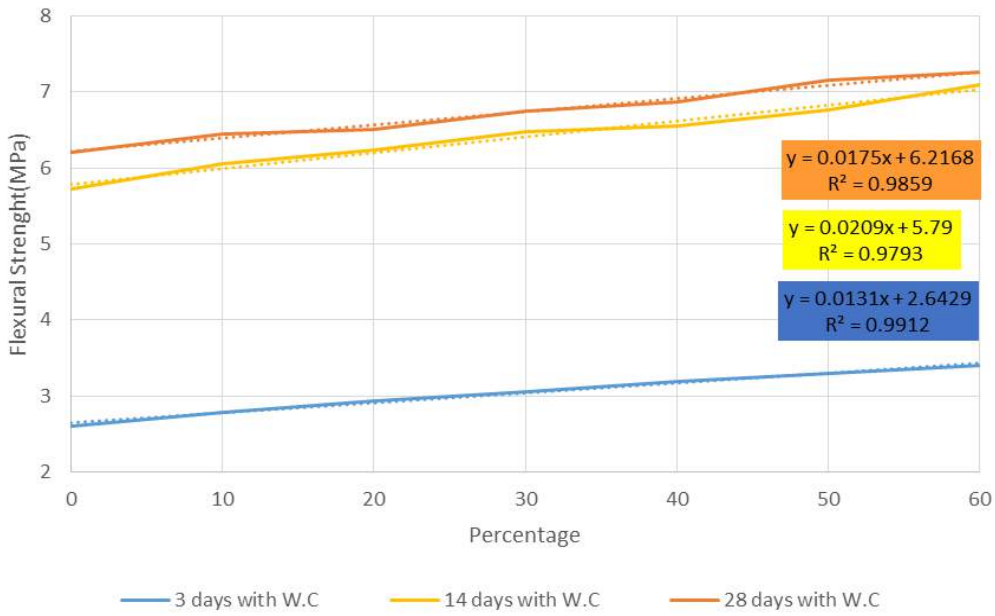



Figure 8. Flexural strength subjected to water curing (WC) at different ages

## CONCLUSION

Based on the results presented in this study, the following conclusions can be drawn:-

1) As a result of steam curing had significant high early strength especially at 1 day. However, when comparing later age compressive strength development of the concretes, it was observed that water cured concretes had equal rate of strength development. Steam cured concrete displayed higher performance than water cured in terms of early age compressive strength and flexural strength.

2) By increasing the quarry dust content in the concrete leads to increase the compressive and flexural strength.

3) One of the ways to improving sustainability is to reduce the human consumption of natural resources. In order to protect the natural resources such as river sand, this study has identified quarry dust, which is a waste product from stone crushing industry and available almost free-of-cost, as partial replacement for river sand.

## REFERENCES

Saul, A. G. A. (1951). Principles underlying the steam curing of concrete at atmosphericpressure. *Magazine of Concrete Research, 2(6)*, 127-140.

Bentur, I. S. (1978). Short-term steam-curing and concrete later-age strength. *Matériaux et Construction*, 93-96.

Poon, C. S., Kou, S. C., & Chan, D. (2006). Influence of steam curing on hardened properties of recycled aggregate concrete. *Magazine of concrete research, 58(5)*, 289-299.

Chandana Sukesh, K. B. (2013). Partial Replacement of Sand with Quarry Dust in Concrete. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 5.

Long, G., He, Z., & Omran, A. (2012). Heat damage of steam curing on the surface layer of concrete. *Magazine of Concrete Research*, *64*(11), 995-1004.

Hanson, J. (1963). *Optimum steam curing procedure in precasting plants.* ACI J. Proc.

Higginson, E. C. (1961). Effect of Steam Curing on the Important Properties of Concrete. *Journal Proceedings*, 281-298.

M., A. S. (2011). Characteristic studies on the mechanical properties of quarry dust addition in conventional concrete. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology Vol. 2(10)*, 218-235.

Mir, A. H. (2015). Improved Concrete Properties Using Quarry Dust as Replacement for Natural Sand. *International Journal of Engineering Research and Development*, 46-52.

Oztekin, E. (1984). Determination of heat treatment cycle for cements. *Turkish cement manufacturers' association*, 24-26.

Ilangovana, R., Mahendrana, N., & Nagamanib, K. (2008). Strength and durability properties of concrete containing quarry rock dust as fine aggregate. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, *3*(5), 20-26.

R-87, A. 5. (1992). *Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric.* ACI Manual of Concrete.

Rao, K. S. (2016). Strength Characteristics of Quarry Dust in Replacement of Sand. *International Conference on Advanced Material Technologies (ICAMT)-2016*, 7.

Rao, K. S. (2016). Study on Compressive Strength of Quarry. *http://dx.doi.org/10.1155/2016/1742769*, 5.

Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (1981). Concrete Prentice-Hall. *Englewood Cliffs, NJ, 481*.

Türkel, S., & Alabas, V. (2005). The effect of excessive steam curing on Portland composite cement concrete. *Cement and Concrete Research*, *35*(2), 405-411.

Erdem, T. K., Turanli, L., & Erdogan, T. Y. (2003). Setting time: an important criterion to determine the length of the delay period before steam curing of concrete. *Cement and Concrete Research*, *33*(5), 741-745.

9 789757 375470