



KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

e-ISSN 1309-1751

Mühendislik Bilimleri Dergisi Journal of Engineering Sciences

2019

SAYI / NUMBER : 4
CILT / VOLUME : 22



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Yazışma Adresi / Corresponding Address

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi
46050, Onikişubat/Kahramanmaraş
TÜRKİYE

E - Posta

jes@ksu.edu.tr

Web

<http://jes.ksu.edu.tr/>

Bu dergi hakemli olup yılda 4 kez yayınlanır.

This journal is peer - reviewed and published 4 issues per year.



Sahibi / Owner

Prof.Dr. Niyazi CAN
KSU Rector

Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ
htemiz@ksu.edu.tr

Baş Editör Yardımcısı / Vice Editor in Chief

Assist. Prof. Dr. Ö. Fatih KEÇECİOĞLU
fkececioglu@ksu.edu.tr

Editörler / Editors

Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ
Electrical and Electronics Eng.

asyilmaz@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet KAYA

Mechanical Eng.

kaya38@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Hasan BADEM

Computer Eng.

hbadem@ksu.edu.tr

Prof.Dr. Özlem TURGAY

Food Eng.

ozlem@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet ALKAN

Electrical and Electronics Eng.

aalkan@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Beril ÖZÇELİK

Mechanical Eng.

bozcelik@ksu.edu.tr

Assist.Prof.Dr. Yakup CUCİ

Environmental Eng.

cuci@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU

Landscape Arc.

fmengelo@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet ÜNSAL

Civil Eng.

munsal@ksu.edu.tr

Assoc. Prof.Dr. Tamer RIZAOĞLU

Geological Eng.

tamer@ksu.edu.tr

Assoc.Prof.Dr. Suat ÇETİNER

Textile Eng.

suatcetiner@ksu.edu.tr

Lecturer Ahmet GANI

Technical Editor

agani@ksu.edu.tr

Danışma Kurulu / Advisory Board

Prof. Dr. Cetin Kaya KOC
Dep. of Computer Eng. Univ Of

Cal. Santa Barbara. USA

koc@cs.ucsb.edu

Prof. Dr. Ayhan ÖZDEMİR

Dep. of Elect. & Elcn Eng.
Sakarya Univ. Sakarya,
TURKEY

aozdemir@sakarya.edu.tr

Prof. Dr. Hüseyin AKILLI

Dep. of Mechanical Eng. ÇU Univ.

Adana, TURKEY

hakilli@cu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet KORÜREK

Dep. Of Elcn & Comm Eng. İTU
Univ. İstanbul. TURKEY

korurek@itu.edu.tr

Prof. Dr. Yasemin KORKMAZ

Dep. of Textile Eng.
KSU Univ. TURKEY

yorkmaz@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet PINARBAŞI

Dep. of Mechanical Eng.
Alanya Alaaddin Keykubat

Univ. Antalya, TURKEY

apinarbasi@alanya.edu.tr

Prof. Dr. S. Serhat ŞEKER

Dep. Of Elect. Eng.
İTU Univ. İstanbul. TURKEY

sekers@itu.edu.tr

Prof. Dr. Şerafettin EREL

Dep. of Elect. & Elcn Eng.

YBU Univ. Ankara, TURKEY

serel@ybu.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Mustafa ONAT

Dep. of Computer Eng. Marmara
Univ. İstanbul. TURKEY

monat@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Eyüp DEBİK

Dep. of Environmental Eng.
Yıldız Technical Univ. İstanbul.

TURKEY
debik@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Fan MIZI

Dep. of Civil Eng.

Brunel Univ.Uxbridge,UK

mizi.fan@brunel.ac.uk

Prof. Dr. A. Fevzi BABA

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.
Marmara Univ. İst., TURKEY

fbaba@marmara.edu.tr

Dr. Amit CHAUDHRY

Dep. of Microelectronics Panjab

Univ, Chandigarh, India

amit_chaudhry01@yahoo.com

Assoc. Prof. Dr. Nazmi EKREN

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.
Marmara Univ. İstanbul,

TURKEY

nekren@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Mustafa YAZICI

Dep. of Physics Education. KSU
Univ. K.Maras. TURKEY

yazici@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Selim AY

Dep. Of Elect. Eng.

YTU Univ. İstanbul. TURKEY

selimay@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Musa GÖĞEBAKAN

Dep. of Physics KSU Univ.
K.Maras, TURKEY

gogebakan@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Murat PALA

Dep. of Civil Eng. Adiyaman Univ.

Adiyaman. TURKEY

pala@adiyaman.edu.tr

Prof. Dr. İ.Taner OKUMUŞ

Dep. of Computer Eng
KSU Univ. K.Maras. TURKEY

iokumus@ksu.edu.tr



İÇİNDEKİLER

Çeşitli Boru Tiplerinde Çeper Kayma Gerilmesi Değişiminin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Yapay Sinir Ağı ile Modellenmesi Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT, Mehmet DAŞ	153-164
Soğutucularda Akışkan Miktarı ve Kılcal Boru Ebatlarının Oda Sıcaklığına Etkisinin İncelenmesi Mustafa ATMACA, Savaş EKŞİOĞLU	165-173
Normal Katılaştırma Yöntemi ile Üretilen Al-Mg-Ti-B Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri Hakan YAYKAŞLI, Musa GÖĞEBAKAN	174-182
Mısır Koçanında Sülfürik Asit, Hidrojen Peroksit ve Ultrases Dalga Ön İşlemleri ile Çözünmüş Şeker Üretiminin Optimizasyonu Ece Ümmü DEVECİ, Çağdaş GÖNEN, Gözde ÇETİN	183-198
Termik Santrallerin MRV Sistemi Sera Gazı Emisyon Hesabı ve Emisyonların İyileştirilmesi Ece Ümmü DEVECİ	199-214
Akkaya Sölestin Yatağının Jeolojisi, Mineralojik-Petrografik Özellikleri Ve İzotop (Sr, S, O, H) Jeokimyası (Ulaş, Sivas-Türkiye) Çiğdem ŞAHİN DEMİR, Ali UÇURUM, Ahmet EFE	215-237
Non-Dispersive Infrared CO ₂ Sensörü Kullanılarak İç Ortam Co ₂ Düzeylerinin Belirlenmesi: Şanlıurfa Örneği Hatice ÖZDEŞ, Nihan UYGUR	238-248
Rotoru Sargılı Bir Asenkron Motorun Senkron Hızda Dönen DQ Ekseninde ve Rotor Akıları Kullanılarak Simülasyonu Metin SALİHMUHSİN, Mehmet EKER	249-256
Adaptif Parçacık Sürü Optimizasyonu (APSO) ve Karınca Kolonisi Algoritması (KKA) Kullanarak Öz Ayarlamalı PID Kontrolör Tasarımı Oğuzhan KAPUKAYA, Mahit GÜNEŞ	257-270
Tekstil Atıksuyu ve Sentetik Boyarmadde Çözeltilerinden Renk ve KOİ Gideriminde Alüm ve Magnezyum Klorürün Karşılaştırılması Korhan YILMAZ, Turan YILMAZ	271-280
DA-DA Yükselten Dönüştürücü ile Elektrikli Araç Batarya Şarj Cihazı Tasarımı Erdal KILIÇ	281-287
Mobil Robot Kolunun PSO İle Stabilizasyonu Aziz ULUSOY, Mahit GÜNEŞ	288-297



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 28.08.2018
Kabul Tarihi : 14.11.2019

Received Date : 28.08.2018
Accepted Date : 14.11.2019

ÇEŞİTLİ BORU TIPLERİNDE ÇEPER KAYMA GERİLMESİ DEĞİŞİMİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ VE YAPAY SİNİR AĞI İLE MODELLENMESİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WALL SHEAR STRESS VARIATION IN VARIOUS PIPE TYPES AND MODELING WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT ¹ (ORCID: 0000-0003-2533-3381)

Mehmet DAŞ ^{1*} (ORCID: 0000-0002-4143-9226)

¹ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği, 60250 Tokat, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Mehmet DAŞ, mehmetdas@outlook.com

ÖZET

Bu çalışmada, gelişen türbülanslı boru akışında çeper kayma gerilmesinin boru boyunca değişimi deneysel olarak elde edilmiştir. Bu amaçla değişik pürüzlülükte 5 adet boru (alüminyum, bakır, siyah, galvanizli ve PPRC “polypropylene random copolymer”) seçilmiştir. Bu borulara hidrodinamik geçiş bölgesinde sık aralıklarla tam gelişmiş akış bölgesinde ise sadece giriş ve çıkışta olmak üzere çok sayıda basınç prizleri yerleştirilmiştir. Deneyler yapılırken debi hidrolik tank yardımıyla ölçülmüş ve bu debiye karşılık gelen statik basınç değerleri, sisteme kurulan sabit bir dijital kamera yardımıyla belirli zaman aralıklarında kaydedilmiştir. Kaydedilen bu görüntülerden yararlanarak bir görüntü işleme programı yardımı ile anlık basınç çalkantıları elde edilmiştir. Anlık basınç çalkantılarının ortalaması alınarak her bir basınç prizindeki zaman ortalamalı basınç değerleri hesaplanmıştır. Birbirine yakın basınç prizleri arasındaki basınç farkından yararlanarak çeper kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Her bir boru için değişik Reynold sayılarında kayma gerilmesinin boru boyunca değişimi grafik olarak sunulmuştur. Deney çalışmalarından elde edilen kayma gerilmeleri için yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak tahminsel bir model elde edilmiştir. Elde edilen modelin geçerliliğini belirlemek için farklı hata analizleri yapılmıştır. YSA tarafından kayma gerilmesi değerleri için oluşturulan tahminsel modeller içerisinde en az hata oranı %10 değeri ile bakır boruya ait tahminsel modelidir. Sonuç olarak farklı pürüzlülüğe sahip borulardaki çeper kayma gerilmeleri belirlenmiş ve en fazla kayma gerilmesi değeri (20.13 Pa) PPRC boruda görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Boru Akışları, gelişen akış, kayma gerilmesi, yapay sinir ağı

ABSTRACT

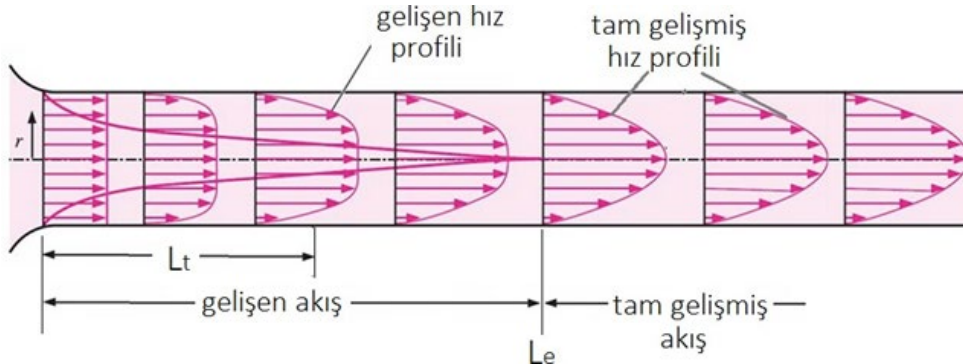
In this study, the variation of wall shear stress along the pipe for the developing turbulent pipe flows was obtained experimentally. For this purpose, five pipe having different roughness (aluminum, copper, black, galvanized and PPRC “polypropylene random copolymer”) are selected. Many piezometric holes are tapped into horizontal water pipe closely in the transition region while only one at the entry and one at the exit of fully developed region for the experimental study. During the experiment, flow rates were measured using a hydraulic tank and static pressure values corresponding this flow rates were recorded for defined time interval using a digital camera. Utilizing these recorded images, instant pressure fluctuations are obtained with help of an image processing software. Taking the average of the instant pressure fluctuations time averaged pressure values were calculated for each pressure piezometers. Using pressure difference between adjacent piezometers the wall shear stresses have been identified. For each pipe and for different Reynolds numbers the variation of wall shear stress has been presented along the pipe. A predictive model is obtained by using artificial neural network (ANN) for the shear stresses obtained from the experiment. Among the predictive models created by ANN for shear stress values, the minimum error rate is the predictive model of copper pipe with a value of 10%. Different error analyzes were performed to determine the validity of the obtained model. As a result, the wall shear stress variation in the pipes with different roughness was determined and the highest shear stress value (20.13 Pa) was observed in PPRC pipe.

Keywords: Pipe flows, developing flow, shear stress, artificial neural network

GİRİŞ

Akış teorisi oldukça iyi anlaşılmasına rağmen teorik çözümler dairesel borulardaki, tam gelişmiş laminar akış gibi sadece birkaç basit durum için elde edilebilmiştir. Bundan dolayı çoğu akış problemlerinde kapalı hal analitik çözümlerinden ziyade deneysel sonuçlara ve ampirik bağıntılara güvenilmelidir. Deneysel sonuçların dikkatlice denetlenen laboratuvar şartlarında elde edildiği ve iki sistemin tam olarak birbirine benzemeyeceği düşünüldüğünde elde edilen sonuçları eksiksiz olarak görmemek gerekir. Sürtünme faktörlerinde yüzde onluk bir hata (ve fazlası) oluşması istisnadan çok bir standarttır (Abraham 2010, Çengel 2008)

Katı düz yüzey üzerinden akışlarda, akış yüzey girişinde laminar fakat belirli bir akış mesafesinden sonra akışı tetikleyen bozuntular akışı türbülanslı yapar. Şekil 1 'de boru içerisinden akan bir akışkanın laminar, geçiş ve türbülans olma aşamaları gösterilmiştir. Girişten itibaren akışın ilk türbülansa uğradığı akış mesafesine geçiş uzunluğu " L_t " denir. Geçiş uzunluğundan sonra laminar-türbülans arası bir geçiş akışı oluşur ve sonra akış tam türbülanslı olur. Boru akışlarında Laminerden türbülansa geçişler için bazı detaylı deneysel ve teorik ilerlemeler Kerswell tarafından ve son zamanlarda ise Willis vd., tarafından incelenmiştir (Kerswell 2005, Willis 2008). Girişten itibaren akış tam türbülanslı oluncaya kadar ölçülen mesafeye ise giriş uzunluğu (L_e) denir. Boru girişinden itibaren viskoz etkiler sonucu gelişen hız sınır tabakası akış boyunca kalınlığı artar. Sınır tabaka kalınlığı boru yarıçapı ile sınırlandırıldığından belirli bir akış mesafesinden sonra tüm boru kesiti viskozlu akış tabakası ile dolu olur. Boru girişinde düzgün olan hız profili değişmez bir hız profiline dönüşüncüye kadar akış boyunca değişir. Hız profilinin değiştiği akış bölgesine giriş akışı veya gelişen akış denir. Hız profilinin değişmez olduğu boru akışına ise tam gelişmiş boru akışı denir. Literatürde genellikle tam gelişmiş boru akışı duvar kayma gerilmesi veya hız profilinin akış boyunca artık değişmez olduğu bir akış bölgesi olarak tanımlanmıştır. Fakat bazı literatür çalışmalarında, örneğin Doherty vd., zaman ortalamalı türbülans akış istatistikleri tümüyle değişmez olduğunda tam gelişmiş akışın başladığı kabulünün yapılması gerektiğini bildirmiştir (Doherty, 2007).



Şekil 1. Gelişen ve tam gelişmiş akışta hız profili değişimi

Tam gelişmiş laminar veya türbülans boru akışları teorik veya ampirik bağıntularla büyük ölçüde çözülmüşken gelişen akış kısmı ise hala tam olarak çözülememiştir (Özışık 1985, White 2003).

Mühendislik uygulamalarında genelde boru giriş bağlantıları koniksel (trampet ağzı), çıkıntılı veya keskin kenarlı olur. Keskin kenarlı bir giriş boru girişinde çok türbülans üretirken koniksel bir giriş ise en az türbülans üretendir. Girişte üretilen türbülans miktarı geçiş ve giriş uzunlukları üzerinde çok etkili olduğu yapılan pek çok çalışmada belirtilmiştir. Boru girişinde yüksek türbülans miktarı geçiş ve giriş uzunluklarını düşük türbülanslı bir girişe göre daha kısa yapar (Augustine 1988, Ghajar 1995).

Literatürde yapılan çalışmalarda boru içi tam gelişmiş akış mesafesi incelemeleri yapılmıştır. Tam gelişmiş akış mesafesi boru çapına göre belirlenmiştir. Nikuradse, akış yönlü mesafelerde ölçtüğü kesit ortalama hız profillerini karşılaştırarak tam gelişmiş akışı 25D ile 40D (D : boru çapı) arasındaki boru çap mesafelerinde oluştuğunu bildirmiştir (Nikuradse, 1932). Benzer yolla, Laufer, ortalama hız dağılım profillerini karşılaştırarak giriş uzunluğunun 30D olduğunu bildirmiştir (Laufer, 1953). Eksen simetrik akış bozuntuların verildiği deneysel akışlarda, Sarpkaya, tam gelişmiş akışın 30D mesafeden sonra ve Haung ve Chen ise 32D mesafesinden sonra oluştuğunu bildirmiştir (Sarpkaya 1975, Huang 1974). Bununla beraber, eksen simetrik olmayan bozuntularının verildiği akışlarda ise, Huang ve Chen, tam gelişmiş akışın 40D - 48D arasında bir mesafede oluştuğunu bildirmiştir. Çalışmalarında boru girişinde duvar tipi engel kullanılarak eksen simetrik olmayan bozuntular girişte akışa sağlanmıştır ve türbülansa geçiş için kritik Reynolds sayısı 2300 olarak ölçülmüştür (Huang vd., 1974). Perry ve

Abel (1975), $Re=3 \times 10^5$ Reynolds sayısında boru girişinde akışı çalkandırarak tam gelişmiş akışın 71.9D ve 86.2D 'de mesafesinde başladığını bildirmişlerdir. Burada, ortalama hız ve türbülans çalkantı hız değerlerinin arda arda gelen iki ölçüm istasyonunda artık değişmez olması şartı ile tam gelişmiş akışı tanımlamışlardır. Patel ve Head (1974), türbülanslı bir akışta giriş uzunluğunun ortalama hız dağılımına göre 50D ve türbülans çalkantı hız dağılımına göre ise 80D olduğunu ölçmüşlerdir. Fakat akış boyunca ölçtükleri basınç değişimleri gözlemlendiğinde ise tam gelişmiş akışın 10D-20D arasındaki mesafelerde daha erken oluştuğu görülmüştür. Barbin ve Jones (1963), $Re=388000$ Reynolds sayısında 40D uzunluğundaki bir boru ile yaptıkları deneysel çalışmada, akış boyunca statik basınç değişimlerini gözlemlediklerinde 15D çaptan sonra tam gelişmiş akışın oluştuğunu ve ortalama hız profillerini gözlemlediklerinde ise 40D uzunluğa kadar tam gelişmiş akışın hala başlamadığını bildirmişlerdir. Son zamanlarda Doherty vd. (2007), ortalama hız profilinin değişmez olması için 50D üzerinde bir gelişme uzunluğuna gerek duyulduğunu ve yüksek dereceden türbülans istatistiklerinin değişmez olması için de 80D 'lik bir akım mesafesine gerek duyulduğunu bildirmişlerdir.

Boru içi akışlarda kayma gerilmesi ile ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Sokhal ve ark (2018), guar zıncığı ve tuz karışımlarının bir boruda türbülanslı su akışının sürtünme ve kayma gerilmesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Su içinde (1000-3000 ppm) ve KCl tuzu içermeyen (1000-3000 ppm) guar sakızı (1000-3000 ppm) boyunca konsantrasyon edilmiş solüsyonları, kısa bir süre (2.5 dakika) boyunca boru çeperine enjekte ederek, bunların su yoluyla türbülanslı akışındaki sürüklenmeyi azaltma üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Vasques ve diğ. (2018), 11.7 mm boru içinde hem yukarı hem de aşağı doğru dairesel gaz-sıvı akışlarında sıvı filmin ara yüzey dalga yapısını ve çeper kayma gerilmelerini Parlaklık Tabanlı Lazer İndüklemeli Floresans tekniği (PTLIF) kullanılarak incelemişlerdir. Liu ve ark. (2018), dikey bir boruda akma gerilmesi sıvısının başlangıç akışını incelemişlerdir. Başlangıç akışını araştırmış ve düşey bir boruda basit bir akma ve kayma gerilmesi akışkanının (Carbopol 940) elde edilmesini sağlamışlardır. Carbopol, aşağıdan, borunun dibine enjekte edilen bir Newton sıvı (Fluorinert FC-40) ile yer değiştirilerek akışı incelemişlerdir. Ahn ve diğ. (2017), türbülanslı boru akışlarında büyük ölçekli hareketlerin kesme gerilmesine katkısını incelemişlerdir. Büyük ölçekli hareketlerin (LSM) Reynolds kayma gerilmesine katkısını araştırmak için $Re \tau = 544, 934$ ve 3008 ile türbülanslı boru akışları için doğrudan sayısal simülasyon verilerini kullanmışlardır. Singh ve ark. (2017), geliştirilmiş newton sıvıları için akma gerilmesinin boru içi akışta türbülansa olan etkisini incelemişlerdir. Çeper kayma gerilmesinin yüksek basınçlarda değişimini göstermişlerdir.

Bu çalışmada pürüzlülük oluşturma yerine farklı tipteki ticari boruların incelenmesi esas alınmıştır. Borulardaki çeper kayma gerilmeleri çeşitli Reynolds sayıları için hesaplanmıştır. Ayrıca basınç ölçümleri kamera yardımıyla yapılarak, görüntü işleme yöntemleriyle değerlendirildiğinden sonuçlar gözle okumaya kıyasla çok daha hassas elde edilebilmektedir. Bu yöntemle hem anlık basınç çalkantıları elde edilebilmekte, hem de bunların zaman ortalamaları bulunabilmektedir. Farklı tip borularda elde edilen çeper kayma gerilmeleri için yapay sinir ağı kullanılarak tahminsel bir model elde edilmiştir.

MATERYAL VE METOT

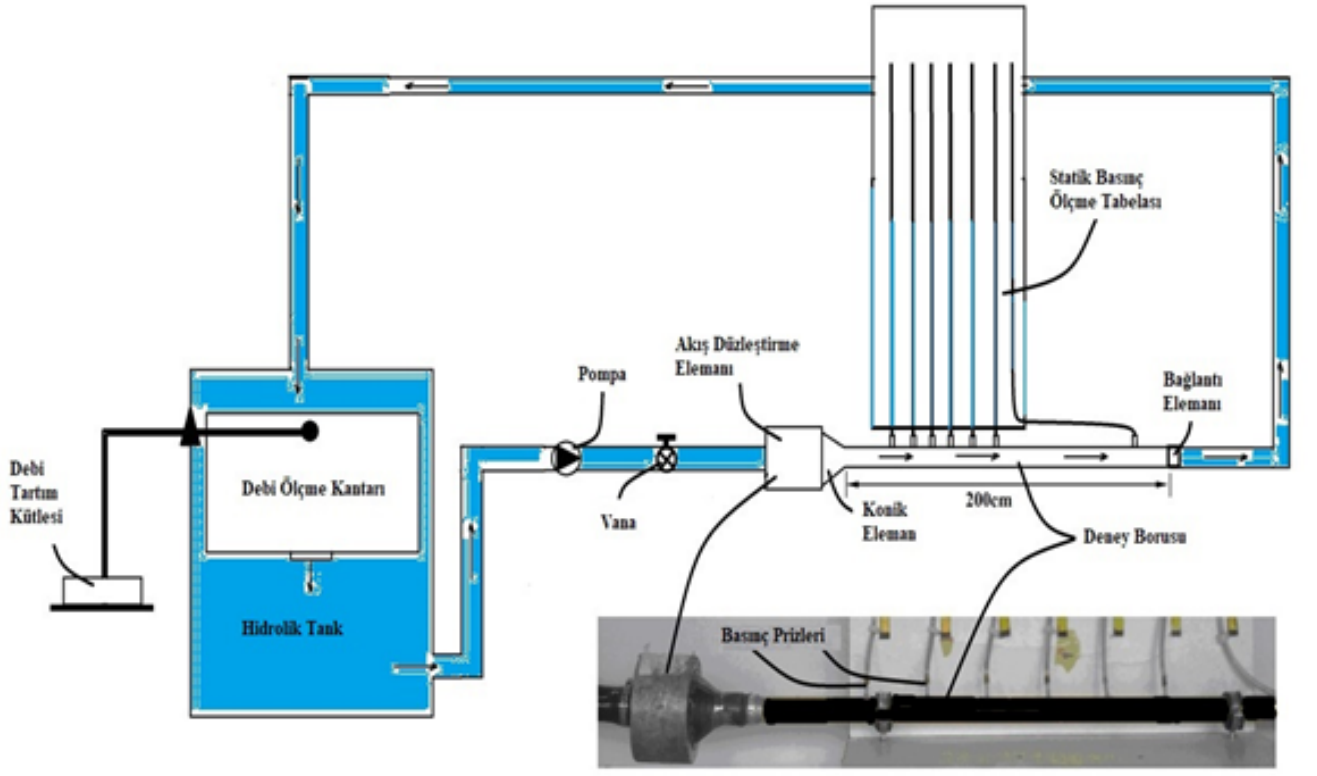
Deney düzeneği hazırlanırken değişik pürüzlülükte 5 adet boru seçilmiştir. Boru uzunluğu, hidrodinamik geçiş uzunluğu ve tam gelişmiş akış bölgesini de kapsayacak kadar uzun seçilmiştir. Bu borulara hidrodinamik geçiş bölgesinde sık aralıklarla, tam gelişmiş akış bölgesinde ise sadece giriş ve çıkışta olmak üzere çok sayıda basınç prizleri yerleştirilmiştir. Borular akışkanlar mekaniği laboratuvarında mevcut bulunan bir hidrolik tanka monte edilmiştir. Deney yapılırken debi hidrolik tank yardımıyla ölçülmüş bu debiye karşılık gelen statik basınç değerleri ise sisteme kurulan sabit bir dijital kamera yardımıyla belirli bir zaman aralığında kaydedilmiştir. Görüntü kalitesi açısından sistemdeki suya kırmızı renkli mürekkep karıştırılmıştır. Kaydedilen bu görüntülerden yararlanarak görüntü işleme programı ile anlık basınç çalkantıları elde edilmiştir.

Deney düzeneğinde kullanılan kamera; Yüksek çözünürlükte, lens sistemi dijital zum 300x optik zum 25x, görüntü sensörü CCD algılayıcı boyut 1/1.57 cm (1/4") ve 240 fps özelliğine sahiptir. Deneylerde kullanılan boru tiplerinin bağıl pürüzlülük ve çap değerleri Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Boru malzemesi, bağıl pürüzlülükleri ve çapları

Boru Türü	Çap (mm)	Bağıl pürüzlülük ϵ / D
Alüminyum	26	0.0016
Bakır	25	0.00016
Siyah	27.6	0.0024
Galvanizli	27.6	0.0026
PPRC	20.5	0.00033

Şekil 2.'de deney düzeneği, Şekil 3.'de ise alüminyum boru ile yapılan bir deney sırasında ilk 5. saniyede elde edilen görüntü verilmiştir. İlk 6 piyezometre borusu başlangıçtan itibaren $L=0.2$ m mesafeden başlayarak 0.1 m aralıklarla dizilmiştir, sonuncusu ise $L=1.7$ m mesafesindedir.



Şekil 2. Deney düzeneği



Şekil 3. Alüminyum boru 1. deney 05. saniyede çekilen görüntü ($Re = 50067$)

Deneylerde en az 105 sn görüntü alınmış, beşer saniye aralıklarla görüntü durdurularak yirmi bir zaman diliminde statik basınç ölçümleri yapılmıştır. Her bir kesitteki statik basınç değerlerinin ortalaması alınmış, birbirine yakın basınç prizleri arasındaki ortalama basınç farkından yararlanarak çeper kayma gerilmeleri tespit edilmiştir. Boru uzunluğu, hidrodinamik geçiş uzunluğu ve tam gelişmiş akış bölgesini de kapsayacak kadar uzun seçilmiştir. Bu borulara hidrodinamik geçiş bölgesinde sık aralıklarla tam gelişmiş akış bölgesinde ise sadece giriş ve çıkışta olmak

üzere çok sayıda basınç prizleri yerleştirilmiştir. Her bir boru için ve değişik Reynolds sayılarında kayma gerilmesinin boru boyunca değişimi grafiksel olarak sunulmuştur.

Deneylerde Reynolds sayısı, oda sıcaklığında bulunan 27 °C sıcaklıkta bulunan suyun özellikleri referans alınarak Eşitlik 1 yardımı ile hesaplanmıştır. Eşitlik 1'de V_{ort} ortalama hız değeri (m/s), ρ yoğunluk değeri (kg/m³), D boru çapı değeri (m) ve μ (Pa.s) dinamik viskozite değerini göstermektedir.

$$Re = \frac{\text{Atalet Kuvvetleri}}{\text{Viskozite Kuvveti}} = \frac{V_{ort} \times D}{\nu} = \frac{\rho \times V_{ort} \times D}{\mu} \quad (1)$$

Deney çalışmasında statik basınç yükseklikleri ve hacimsel debi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerden elde edilen değerlerle Reynolds sayısı ve çeper kayma gerilmesi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerden belirsizlik değeri belirlenirken Kline ve McClintock tarafından belirlenen yöntem (Eşitlik 2) esas alınmıştır (Kline 1953, Holman 1989). Eşitlik 2.'de x belirsizlik özellikleri, W ise belirsizlik değerini ifade eder. Bu çalışmada çeşitli parametreler için hesaplanan belirsizlik analizi Tablo (1) de gösterilmiştir.

$$W_x = \left[(x_1)^2 + (x_2)^2 + \dots \dots \dots \dots (x_n)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Tablo 1. Belirsizlik Değerleri

Parametre	Belirsizlik Değeri (%)
Basınç Kaybı Ölçümlerinde	±%3.2
Kütle ve zaman ölçümlerindeki	±%1.1
Boru boyundaki farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik	±%1
Boru çapındaki farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik	±%1
Fiziksel Özelliklerin Belirsizliği (Viskozite ve Yoğunluk)	±%1
Reynold sayısındaki belirsizlik	±%2.7
Sürtünme faktöründeki belirsizlik	%7.4

Kayma Gerilmesi

Dairesel bir boruya üniform hızla giren akışkan çeperde kaymama koşulundan dolayı boru yüzeyi ile temasta olan tabakadaki akışkan parçacıkları tamamen durur. Boru çeperindeki kayma gerilmesi τ_w yüzeydeki hız profilinin eğimi ile ilgilidir. Hidrodinamik olarak tam gelişmiş bölgede, hız profili değişmeden kaldığı gibi çeper kayma gerilmesi de sabit kalır. Borunun hidrodinamik giriş bölgesindeki akışı dikkate aldığımızda sınır tabaka kalınlığının en az olduğu boru girişinde çeper kayma gerilmesi en yüksek değerdedir. Bu nedenle borunun girişinde basınç düşüşü daha fazladır ve giriş bölgesinin etkisi, borunun tamamı için olan ortalama sürtünme faktörünü daima arttırma yönündedir (Hasan, 2018). Bir boru üzerinde farklı iki noktadaki çeper kayma gerilmesi; basıncın L boru boyunca değişimi ile hızın boru yarıçapı boyunca değişimi kullanılarak Eşitlik (3) ile hesaplanır.

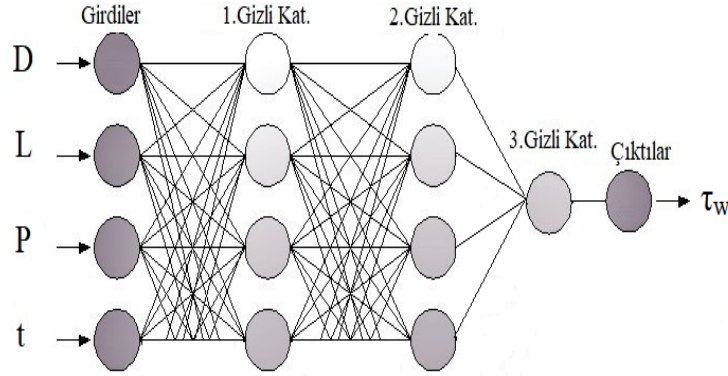
$$\tau_w = \frac{(D \div 2) \times (P_1 - P_2)}{2 \times (L_2 - L_1)} \quad (3)$$

Eşitlik (3)'e göre; D boru çapı, P her bir basınç prizindeki basınç, L ise her bir basınç prizi arasındaki mesafeyi göstermektedir.

Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları ya da kısaca YSA; insan beyninin çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. YSA, belirli değerlere dayanarak, girdi alanında olan noktaları çıktı alanında olan eş noktalara belli bir fonksiyonla bağlamaktadır (Teti vd. 2010). Yapay sinir ağları, örüntü tanıma, tahmin etme, sınıflandırma vb. geniş uygulama alanına sahiptir. Yapay sinir ağları, insanlara benzer olarak örnekler ile öğrenirler. Bu nedenle veri seti, eğitim ve test kümesi olarak iki kısma ayrılır (Fındık vd. (2010).

YSA'da tahminsel model oluşturmak için MATLAB 2016a yazılımı kullanılmıştır. Model oluşturmak ve tahminleme işlemleri için her bir boru çeşidinden 1. ve 2. ölçüm noktaları arasındaki basınç farkı hesaplamaları dikkate alınmıştır. Tahminsel model için 64 giriş verisi 16 çıkış verisi kullanılmıştır. Giriş verileri çap D, Boru uzunluğu L ve süre t olarak seçilmiş, çıkış verisi ise kayma gerilmesi τ_w olarak seçilmiştir. Oluşturulan YSA modelinin yapısı Şekil 4.'de verilmiştir.



Şekil 4. YSA yapısı

YSA kullanılarak elde edilen tahminsel modelin doğruluğunu belirlemek için ortalama karesel hata (MSE) ve kök ortalama karesel hata (RMSE) analizleri yapılmıştır. Yapılan hata analizlerine ait bilgiler Tablo 2.'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Hata Analizleri, Formülleri ve Parametreleri

Hata Analizi	Formülü	Parametreler
MSE	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{exp,i} - A_{ANN,i})^2$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer n: Veri Seti Sayısı
RMSE	$\sqrt{\frac{(P_1 - A_1)^2 + \dots + (P_n - A_n)^2}{n}}$	P: Tahmin Değeri A: Gerçek Değer n: Veri Seti Sayısı

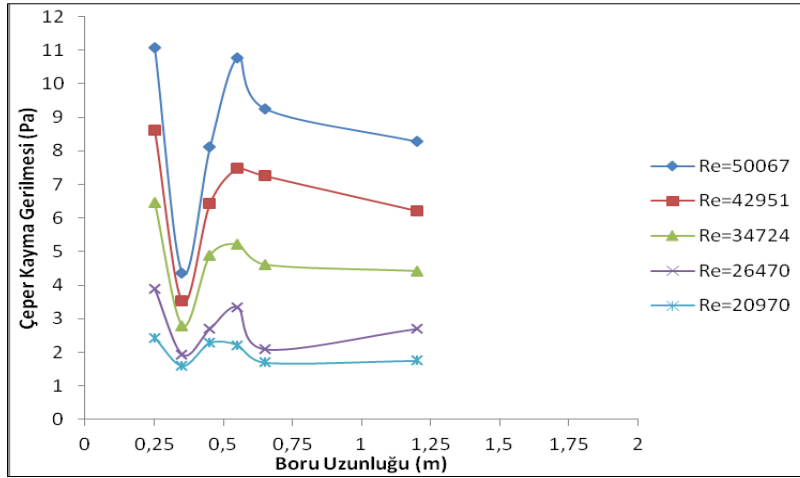
BULGULAR

Deneylerde 5 farklı boru tipi için tam gelişmiş akışın başladığı yerler Tablo 4 de gösterilmiştir. Tablo 4'e göre tam gelişmiş akışın oluştuğu en kısa mesafeye sahip boru tipi galvanizli borudur.

Tablo 4. Boru tipilerine göre Tam gelişmiş akışın başlama mesafesi

Boru Türü	Tam gelişmiş akışın başlama mesafesi
Alüminyum	25D
Bakır	26D
Siyah	23.6D
Galvanizli	23.4D
PPRC	31.7D

Şekil 5-9’ da farklı malzemeden yapılmış tüm borular için çeper kayma gerilmesinin değişik Reynolds sayılarında boru boyunca değişimi görülmektedir.

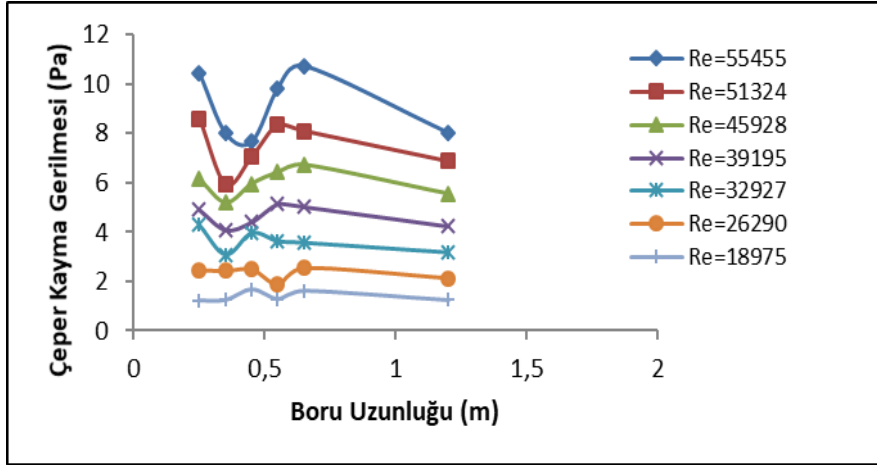


Şekil 5. Alüminyum boru için boru boyunca çeper kayma gerilmesi τ_w ' nin değişimi.

Boru girişinden itibaren gelişen akış kısmında kayma gerilmesi $L_e/D \cong 13.5$ 'a kadar ani bir şekilde düşmekte, sonra $L_e/D \cong 21$ 'e kadar tekrar yükselmekte ve ardından biraz daha düşükten sonra tam gelişmiş akış bölgesinde ($L_e/D \cong 25$ 'den biraz daha ileride) yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Bu mesafelerin tüm Reynolds sayılarında yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Şekil 5’de görüldüğü gibi duvar kayma gerilmesi boru girişinde ani bir düşüş gösterirken sabit değerlere ulaşana kadar gösterdiği değişim parabolik bir eğriyi göstermiştir. Eğrinin değişen kısmı boru girişinde gelişen akışı gösterirken değişmez kısım ise tam gelişmiş akışı göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi duvar kayma gerilmesi minimum bir değerden sonra artmaktadır. Artmaya başlamasının nedeni ise akışta oluşmaya başlayan türbülansdır. Duvar kayma gerilmesinin minimum değer gösterdiği nokta (L_e) laminar akışın son bulunduğu ve türbülansın başladığı noktadır. Burada giriş uzunluğu, L_e , kayma gerilmesi sabit değerlere ilk ulaştığında boru girişinden itibaren ölçülen mesafedir.

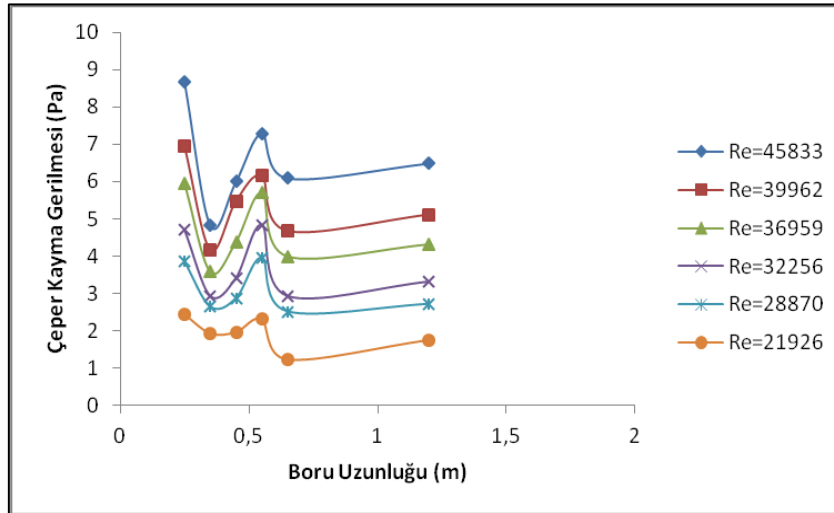
Büyük Reynolds sayılarında gelişen akış bölgesinde kayma gerilmesindeki ani düşüş ve yükseliş daha belirgin olurken, düşük Reynolds sayılarında bu çalkantı daha da azalmaktadır. Alüminyum borunun 0.35 metresi duvar kayma gerilmesinin minimum değeri gösterdiği nokta olup laminar akışın son bulunduğu ve türbülansın başladığı noktadır. Borunun 0.65 metresinde ise tam gelişmiş türbülanslı akışın başladığı görülmektedir.

Şekil 6’ da bakır boru için çeper kayma gerilmesinin değişik Reynolds sayılarında boru boyunca değişimi görülmektedir. Bakır borunun 0.35 metresi duvar kayma gerilmesinin minimum değeri gösterdiği nokta olup laminar akışın son bulunduğu ve türbülansın başladığı noktadır. Borunun 0.65 metresinde ise tam gelişmiş türbülanslı akışın başladığı görülmektedir. Alüminyum borudakine benzer şekilde boru girişinden itibaren gelişen akış kısmında kayma gerilmesi $L_e/D \cong 14$ 'e kadar ani bir şekilde düşmekte, sonra $L_e/D \cong 22$ 'e kadar tekrar yükselmekte ve ardından biraz daha düşükten sonra tam gelişmiş akış bölgesinde ($L_e/D \cong 26$ 'den biraz daha ileride) yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Bakır boruda düşük Reynolds sayılarında bu karakter bozulmakta ve daha düzgün bir kayma gerilmesi elde edilmektedir.



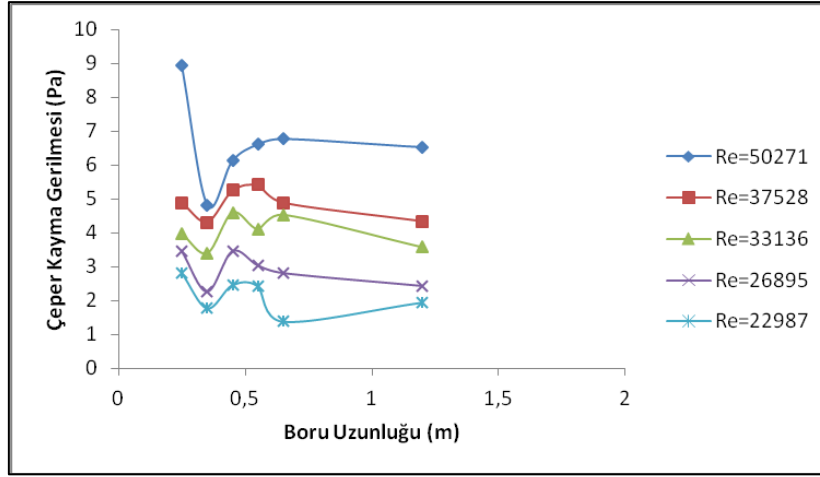
Şekil 6. Bakır boru için boru boyunca çeper kayma gerilmesi τ_w ' nin değişimi.

Şekil 7' de siyah boru için çeper kayma gerilmesinin farklı Reynolds sayılarında boru boyunca değişimi görülmektedir. Siyah boruda da alüminyum borudakine benzer şekilde boru girişinden itibaren gelişen akış kısmında kayma gerilmesi $L_e/D \cong 12.7$ 'ye kadar ani bir şekilde düşmektedir. Daha sonra $L_e/D \cong 20$ 'e kadar tekrar yükselmekte ve ardından biraz daha düştükten sonra tam gelişmiş akış bölgesinde ($L_e/D \cong 24$ 'den biraz daha ileride) yaklaşık olarak sabit kalmaktadır.



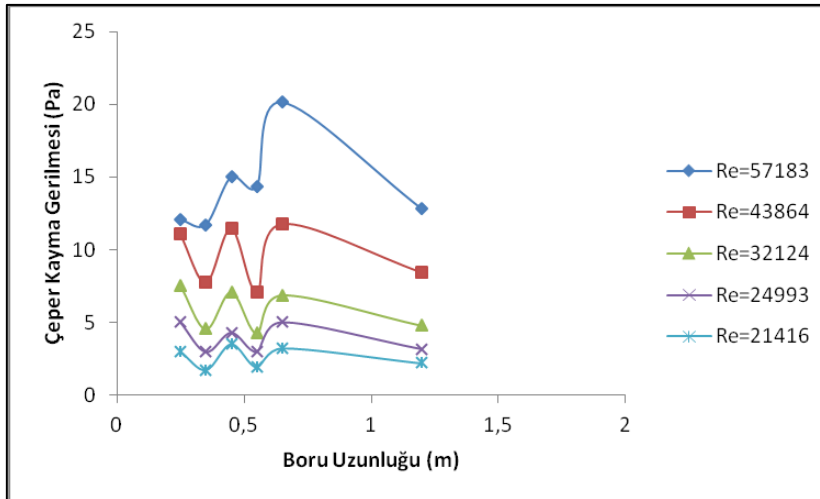
Şekil 7. Siyah boru için boru boyunca çeper kayma gerilmesi τ_w ' nin değişimi.

Şekil 8' de galvanizli boru için çeper kayma gerilmesinin değişik Reynolds sayılarında boru boyunca değişimi görülmektedir. Boru girişinden itibaren gelişen akış kısmında kayma gerilmesi $L_e/D \cong 13$ 'e kadar ani bir şekilde düşmekte, sonra $L_e/D \cong 20$ 'e kadar tekrar yükselmekte ve ardından biraz daha düştükten sonra tam gelişmiş akış bölgesinde ($L_e/D \cong 23.5$ 'dan biraz daha ileride) yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Bu mesafelerin tüm Reynolds sayılarında yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Galvanizli boru için boru boyunca çeper kayma gerilmesi τ_w ' nin değişimi.

Şekil 9'da PPRC boru için çeper kayma gerilmesinin değişik Reynolds sayılarında boru boyunca değişimi görülmektedir. Burada kayma gerilmesinin değişimi önceki borulardan biraz farklı bir karakter göstermiştir. $L/D \cong 12$ ile $L/D \cong 32$ aralığında kayma gerilmesi iki kez iniş çıkış yaparak tam gelişmiş akış bölgesinde yaklaşık sabit kalmıştır. Bunun nedeni ise plastik boruda iç çapın düşük olmasıdır. Çünkü aynı Reynolds sayısı düşünüldüğünde düşük çaplı boruda akış hızı daha yüksektir. Akış hızı laminar akış kararlılığının erken bozulmasında çok etkilidir bu nedenle geçiş mesafesini etkilemektedir.



Şekil 9. PPRC boru için boru boyunca çeper kayma gerilmesi τ_w ' nin değişimi.

Boruların basınç değeri tahmini için Matlab 2016a yazılımında YSA kullanılmıştır. Deney düzeneğinde yapılan ölçümlerde en yakın Reynolds değerlerine göre 5 farklı malzemeden yapılmış boruların, boru boyunca ölçüm alınan L noktalarındaki kayma gerilmesi değerleri ve YSA tarafından tahmin edilen kayma gerilmesi değerleri Tablo 4.'de gösterilmiştir. Reynolds değerleri, Alüminyum boru için 50067, Bakır boru için 51324, Siyah boru için 45833, Galvanizli boru için 50271 ve PPRC boru için 57183 değeri olarak referans alınmıştır. Tablo 4.'de verilen deneysel ve tahminsel çeper kayma gerilmesi değerleri arasında her iki değerinde birbirlerine en yakın olduğu boru cinsi bakır borudur. Bu benzerlik, YSA kullanılarak yapılan tahminsel modelin başarılı bir şekilde çeper kayma değerlerini tahmin ettiğini göstermektedir. YSA'da tahminsel model için 2 farklı hata analizi yapılmıştır. Elde edilen hata oranları Tablo 5.'te gösterilmiştir. Tablo 5'e göre çeper kayma gerilmesi değerleri için oluşturulan tahminsel modeller arasında en az hata oranına sahip boru cinsi bakır borudur.

Tablo 4. Boruların Deneysel ve Tahminsel Çeper Kayma Gerilmesi Değerleri

Ölçüm Noktası	Alüminyum		Bakır		Demir (Siyah)		Galvanizli		PPRC	
	Deneysel	Tahminsel	Deneysel	Tahminsel	Deneysel	Tahminsel	Deneysel	Tahminsel	Deneysel	Tahminsel
L1	11.08	10.45	10.40	10.26	8.60	8.25	8.90	8.11	12.06	11.82
L2	4.37	4.21	7.90	7.82	4.80	4.65	4.80	4.52	11.73	11.54
L3	8.10	7.96	7.60	7.41	5.90	5.41	6.10	5.96	15.01	14.69
L4	10.70	10.14	9.80	9.64	7.20	7.02	6.61	6.24	14.34	14.02
L5	9.30	9.02	10.70	10.44	6.09	6.00	6.77	6.62	20.13	19.55
L6	8.20	8.11	8.01	7.95	6.48	6.22	6.52	6.32	12.81	12.08

Tablo 5. Tahminsel Modellerin Boru Tiplerine Göre Hata Oranları

Hata Oranları	Boru Tipi				
	Alüminyum	Bakır	Demir (Siyah)	Galvanizli	PPRC
Mean Absolute Error	0.1309	0.1028	0.1293	0.2011	0.2644
Root Mean Squared Error	0.162	0.1059	0.1661	0.2741	0.2859

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Şekiller genel olarak incelendiğinde gelişme bölgesindeki akış karakterinin hem Reynolds sayısına hem de boru pürüzlülüğüne bağlı olarak değişim gösterdiği söylenebilir. Pürüzlülüğü yüksek borularda kayma gerilmesindeki ani düşüş ve yükseliş daha belirgin olarak ortaya çıkarken, pürüzlülüğü düşük borularda bu olay daha tedrici olarak yaşanmakta, ancak gelişme bölgesinde birden fazla dalgalanma görülmektedir. Siyah, Galvanizli, Alüminyum ve bakır boru pürüzlülük değerleri çok yakın olmasına rağmen plastik boru değerleri daha yüksek olmuştur. Bunun nedeni ise plastik boruda çapın düşük olmasıdır. Çünkü aynı Reynolds sayısında inceleme yapıldığında, düşük çapı boruda akış hızı daha yüksektir. Akış hızı laminer akış kararlılığının erken bozulmasında çok etkilidir bu nedenle geçiş mesafesini etkilemektedir. Akış hızı arttırıldığında laminerden türbülansa geçiş mesafesi kısalmaktadır. Alüminyum boru ve bakır boru çapları aynı olmasına rağmen yakın Reynolds sayılarında alüminyum boru akışının çeper kayma gerilmesi değerleri daha yüksek olmuştur. Bunun nedeni ise alüminyum borunun pürüzlülük değerinin bakır borununkinden çok çok daha yüksek olmasıdır. Aynı şartlarda daha pürüzlü yüzeyler laminer akışı daha erken bozar dolayısıyla geçiş mesafesi kısalmaktadır. Farklı malzemelerden yapılan borulardaki kayma gerilmeleri için bir hesapsal zeka yöntemi olan yapay sinir ağı kullanılarak tahminsel bir modeller elde edilmiştir. Elde edilen tahminsel modellerin geçerliliklerini değerlendirmek için MAE ve RMSE hata analizleri yapılmıştır. YSA, MAE hata analizi sonuçlarına göre basınç değerleri tahminini Alüminyum boru için %13, Bakır boru için %10, Demir boru için %12, Galvanizli boru için %20 ve PPRC boru için %26 hata oranı ile tahmin etmiştir.

Bu çalışmada basınç kayıpları gözle okuma yerine kamera kullanarak daha hassas tayin edilebilmiştir. Dolayısıyla geçiş bölgesindeki kayma gerilmesinin boru boyunca değişimi de incelenebilmiştir. Daha doğru yorumlar yapabilmek için çok daha fazla sayıda farklı pürüzlülükteki boruların incelenmesi gerekir. Deneysel çalışma yapan ve bu tür basınç ölçümlerine ihtiyaç duyan araştırmacıların pahalı ölçme aletleri alma yerine bu yöntemi kullanmaları tavsiye edilebilir. Kayma gerilmeleri için farklı hesapsal zekâ yöntemleri kullanılarak ve daha fazla veri toplanarak daha başarılı tahminsel modeller elde edilebilir.

KAYNAKLAR

Abraham, J.P., Sparrow, Tong, J.C.K., Bettenhausen, D.W. (2010). Internal flows which transit from turbulent through intermittent to laminar. *International Journal of Thermal Sciences*, 49, 256–263.

Ahn, J., Lee, J., & Sung, H. J. (2017). Contribution of large-scale motions to the Reynolds shear stress in turbulent pipe flows. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 66, 209-216.

Augustine J.R. (1988). Pressure drop measurements in the transition Region for a circular tube with a square-edged entrance. *Doctora thesis*. Bachelor of Science in Mechanical Engineering The University of Southwestern Louisiana Lafayette, Louisiana

Barbin A.R. and Jones J.B. (1963). Turbulent Flow in The inlet Region of A Smooth Pipe. *J. Basic Eng.* 85(1), 29-33

Çengel, Y. A., Cimbala, J.M. (2008). *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları*, Birinci baskıdan çeviri, İzmir Güven Kitabevi.

Doherty, J., Ngan, P., Monty, J., and Chong, M., (2007). The Developments of Turbulent Pipe Flow. *16th Australian Fluid Mechanics Conference*, Crown Plaza, Gold Coast, Australia, Dec. 2–7, pp. 266–270.

Findik, T., Taşdemir, Ş., Şahin, İ. (2010). The use of artificial neural network for prediction of grain size of 17-4 pH stainless steel powders, *Sci. Research and Essays*, 5, 11, 1274-1283.

Ghajar, A.J. and Tam, L.M. (1995). Flow Regime Map for a Horizontal Pipe with Uniform Wall Heat Flux and Three Inlet Configurations. *Experimental Thermal and Fluid Science*; 10:287-297.

Hasan, D. Ü. Z. (2018). Daimi ve Sıkıştırılmaz Boru Akışında Giriş Uzunluğunun Sayısal Analizi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 8(2/2), 1-12.

Holman, J.P., (1989). *Experimental Methods for Engineers*, 5th edition Mc-Graw Hill Company, New York.

Huang, L. M., and Chen, T. S., (1974). Stability of the Developing Laminar Pipe Flow, *Phys. Fluids*, 17, pp. 245–247.

Huang, L. M., and Chen, T. S., 1974, Stability of Developing Pipe Flow Subjected to Non Axisymmetric Disturbances, *J. Fluid Mech.*, 63, pp. 183–193

Kerswell, R. R., (2005). Recent Progress in Understanding the Transition to Turbulence in a Pipe. *Institute of Physics Publishing, Nonlinearity*, 18, pp. R17–R44.

Kline, S.J. and McClintock, F.A., (1953). Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments. *Mechanical engineering*, 75, 3-8, 1953.

Laufer, J., (1953). The Structure of Turbulence in Fully Developed Pipe Flow. *NACA*, Report No. 1174.

Liu, Y., & de Bruyn, J. R. (2018). Start-up flow of a yield-stress fluid in a vertical pipe. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 257, 50-58.

Nikuradse, J., (1932). Gesetzmässigkeiten der turbulenten Strömung in glatten Röhren. *Forsch. Arb. Ing.-Wes. Heft*, 356, pp. 1–36.

Özışık N., (1985). HEAT TRANSFER: a basic approach. *MackGraw-Hill Book Co*, international edition, New York.

Perry, A. E., and Abel, C. J., (1975). Scaling Laws for Pipe-Flow Turbulence. *J. Fluid Mech.*, 67, pp. 257–271.

Patel V.C., Head M.R. (1974). Some observations on skin friction and velocity profiles in fully developed pipe and channel flows. *J. Fluid Mech.* 25, 181.

- Sarpkaya, T., (1975). A Note on the Stability of Developing Laminar Flow Subjected to Axisymmetric and Non-Axisymmetric Disturbances. *J. Fluid Mech.*, 68, pp. 345–351.
- Singh, J., Rudman, M., & Blackburn, H. M. (2017). The effect of yield stress on pipe flow turbulence for generalized Newtonian fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 249, 53-62.
- Sokhal, K. S., Gangacharyulu, D., & Bulasara, V. K. (2018). Effect of guar gum and salt concentrations on drag reduction and shear degradation properties of turbulent flow of water in a pipe. *Carbohydrate polymers*, 181, 1017-1025.
- Teti, R., Jemielniak, K., O'Donnell, G., Dornfeld, D. (2010). Advanced monitoring of machining operations. *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, 59 (2),717-739.
- Vasques, J., Cherdantsev, A., Cherdantsev, M., Isaenkov, S., & Hann, D. (2018). Comparison of disturbance wave parameters with flow orientation in vertical annular gas-liquid flows in a small pipe. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 97,484-501.
- Willis, A. P., Peixinhoy, J., Kerswell, R. R., and Mullin, T., (2008). Experimental and Theoretical Progress in Pipe Flow Transition. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 366_1876_, pp. 2671–2684.
- White F.M., (2003). Fluid Mechanics, 5th edition, *McGraw-Hill Book Co*, New York.



Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 13.10.2018
Kabul Tarihi : 13.11.2019

Received Date : 13.10.2018
Accepted Date : 13.11.2019

SOĞUTUCULARDA AKIŞKAN MİKTARI VE KILCAL BORU EBATLARININ ODA SICAKLIĞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF REFRIGERANT MASS CHARGE AND CAPILLARY PIPE SIZES ON ROOM TEMPERATURE IN REFRIGERATORS

Mustafa ATMACA ¹ (ORCID: 0000-0003-3906-9606)

Savaş EKŞİOĞLU ² (ORCID: 0000-0002-3106-6139)

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul Türkiye

¹ TÇMB Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, İstanbul Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mustafa ATMACA, matmaca@marmara.edu.tr

ÖZET

Kılcal borular küçük soğutma sistemlerinde soğutucu akış kontrol cihazı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, farklı soğutucu akışkanları kullanılarak soğutucu akışkan şarj miktarının ve kılcal boru ebatlarının oda sıcaklığına etkisi incelenmiştir. Farklı çaplı kılcal borulardan, farklı kütlelerde R410 ve R32 soğutucu akışkanları geçirilerek deneyler yapılmıştır. Deneyler, R410 ve R32 soğutucu akışkanlar ile çalışabilen bir deney düzeneğinde yapılmıştır. Deneyler sonucunda, sürekli döngülü bir ev buzdolabında kılcal boru çapına ve soğutucu kütle şarjına bağlı olarak oda sıcaklığı değerleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Soğutucu, Kütle şarjı, Kılcal borular, R410, R32

ABSTRACT

Capillary tubes are widely used as coolant flow controllers in small cooling systems. In this study, the effect of capillary tube sizes and refrigerant mass charge on the room temperature was investigated by using different refrigerants. Experiments were performed by passing R410 and R32 refrigerants from different capillary tubes in different mass charge. Experiments were carried out in a test setup which can work with R410 and R32 refrigerants. As a result of the experiments, room temperature values were presented depending on the diameter of the capillary tube and the refrigerant mass charge distribution in a steadily cycling domestic refrigerator.

Keywords: Refrigerant, Mass charge, Capillary tubes, R410, R32

1. GİRİŞ

Ozon tabakasının incelenmesi ve küresel ısınma gibi çevresel kaygılar nedeniyle, CFC (kloroflorokarbon) ve HCFC (hidrokloroflorokarbon) kullanımı soğutma endüstrisinden aşamalı olarak azaltılmaktadır. Bunun sonucu olarak HFC (hidroflorokarbon), HC (hidrokarbon), ve HFC karışımları R-12 ve R22'nin bir alternatifi olarak ortaya çıkmışlardır. Bir kılcal boru sabit bir alan genişleme cihazı olup yaygın olarak küçük buhar sıkıştırımlı soğutma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanılır. Uygun bir şekilde boyutlandırılmamış kılcal boru, bir soğutma sisteminin performansını önemli ölçüde azaltabilir (Bansal and Rupasinghe, 1996 ; Choi and Kim,2002). Kılcal boru, herhangi bir soğutucu içindeki soğutucuyu genişletmek için bir kondenser ve evaporatör arasına bağlanır. Bu kılcal boruların iç çapları 0.5 mm den 2.30 mm ye kadar değişmekte olup, içinden geçen akışkanın cinsine göre değişmektedir (Zhang, 2014; Altınok, 2008; Stoecker and Jones,1982). Geçmişte kılcal borular üzerinde birçok teorik çalışma yapılmıştır. (Melo ve arkadaşları, 1999; Bittle ve Pate, 1996; Bolstad ve Jordan, 1949; Dirik ve arkadaşları, 1994; Wong ve Ooi, 1996; Escanes ve arkadaşları, 1995)

Soğutucu akışkan kondenser serpantininde yüksek basınç altında olduğundan, kılcal borular aracılığıyla evaporatöre hareket eder. Daha büyük çaplı tüpten (kondenser tüpü) daha küçük çaplı (kılcal boru) soğutucu akışkan hareketi

nedeniyle basınç değişimi meydana gelir. Yüksek basınç altındaki soğutucu, minimum basınç düşüşü ile kılcal boruda hareket eder. Soğutucu, kılcal borudan (daha küçük çaplı) evaporatöre (daha büyük çaplı) gelir; bu değişim, buradaki değişme sıcaklığını azaltarak soğutucu basıncını düşürür. Bu düşük sıcaklıktaki soğutucu artık odadan ısı alabilir ve buharlaşabilir. Döngü bu şekilde devam eder (Yakut, 2014; EES, 2012; Bolaji, 2010).

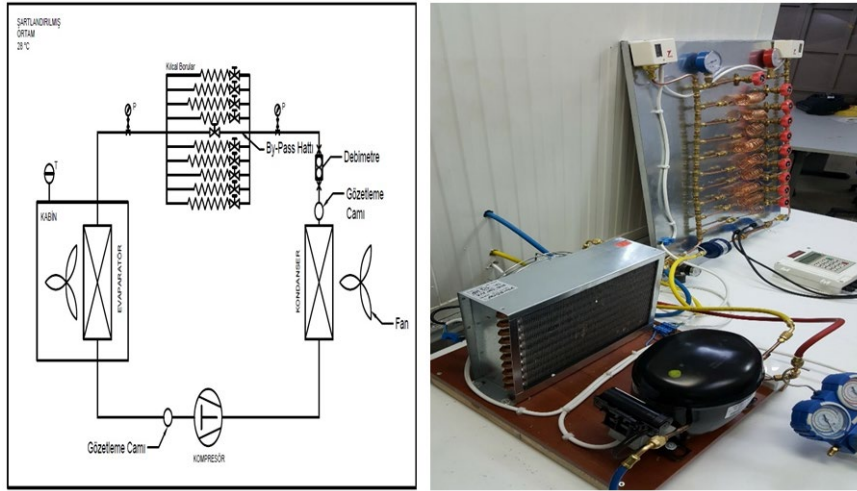
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada farklı kılcal boru ebatlarının ve farklı miktarlarda değişen R410a ve R32 soğutucu akışkanlarının soğutma sistemi üzerindeki performanslarını incelemek üzere bir deney seti oluşturulmuştur. Deney düzeneği; Kompresör, kondansör, evaporatör, çeşitli ebatlarda kılcal borular, alçak ve yüksek basınç manometreleri, alçak ve yüksek basınç prosestatları, gözetleme camı, ultrasonik debimetre, soğutma kabini, vanalar, pirinç ve bakır fittings malzemeleri, şarj manifoldu, hassas terazi, termometre, ampermetre, R32 ve R410a soğutucu akışkan tüpleri kullanılarak oluşturulmuştur.

- Deneysel çalışmalara ait çıktılar ise aşağıda sıralanmıştır;
- Kılcal borunun boy uzunluğunun etkisi
- Kılcal borunun iç çapının etkisi
- Soğutucu akışkan şarj miktarının etkisi
- Soğutucu akışkan tipinin etkisi

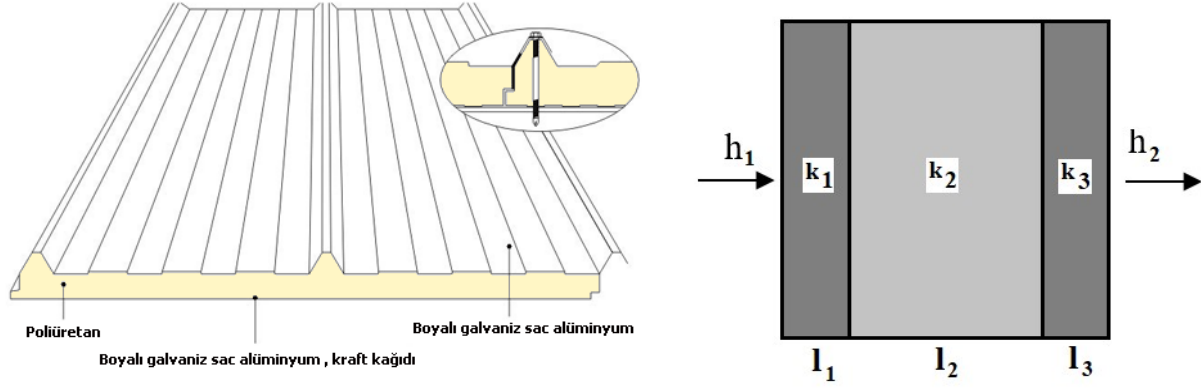
2.1. Deney Düzeneği

Deneysel çalışmalar için bir deney tertibatı kurulmuştur. Bu deney düzeneğinde içinden R410 ve R32 soğutucu akışkan geçen kılcal boru deneyleri yapılmıştır. Oluşturulan deney düzeneğinin şematik resmi şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Oluşturulan Deney Düzeneği

Soğuk odanın iç hacim 1 m³ olup Şekil 2’de görüldüğü gibi 100 mm kalınlığında poliüretan paneller kullanılmıştır. Soğutma yükü hesabı Şekil3’de ekran görüntüsü verilen Cool Pack isimli programla gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise aynı program kullanılarak sistemin dizaynı yapılmıştır.



Şekil 2. Poliüretan Panelin Yapısı.

Soğuk oda dış hacim ölçüleri 1,2x1,2x1,2 metre iken;

Soğuk oda iç hacim ölçüleri 1x1x1 metredir

h: Isı taşınım katsayısı

k: Isı iletim katsayısı

l: Uzunluk

$h_1 = 20 \text{ kcal/m}^2 \text{ hK} = 17,18 \text{ W/m}^2 \text{K}$

$h_2 = 7 \text{ kcal/m}^2 \text{ hK} = 6,013 \text{ W/m}^2 \text{K}$

$k_1 = k_3 = 16 \text{ W/mK}$ (Galvanizli sac ısı iletim katsayısı)

$k_2 = 0,024 \text{ W/mK}$

$l_1 = 0,55 \text{ cm} = 0,0055 \text{ m}$

$l_2 = 9 \text{ cm} = 0,09 \text{ m}$

$l_3 = 0,45 \text{ cm} = 0,0045 \text{ m}$

$1/K = 1/h_1 + l_1/k_1 + l_2/k_2 + l_3/k_3 + 1/h_2$

(1)

$1/K = 1/17,18 + 0,0055/16 + 0,09/0,024 + 0,0045/16 + 1/6,013$

$K = 0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Yapılan hesaplamalarda toplam ısı transfer katsayısı K değeri 0,25 W/m² K olarak bulunmuştur. Bulunan K değeri, dış ortam sıcaklığı 28 °C ve iç ortam sıcaklığı -4 °C olacak şekilde Cool Pack programına işlenerek soğutulacak olan 1 m³'lük hacmin soğutma yükü hesaplanarak Şekil 3'de görüldüğü gibi 317 Watt olarak bulunmuştur.

COOLING DEMAND FOR A COLD ROOM							
HEAT TRANSFER THROUGH BUILDING PARTS							
	k-value [W/(m ² ·K)]	T [°C]	L [m]: 1	W [m]: 1	H [m]: 1	Volume: 1 [m ³]	Q _{TRANS} : 0,048 [kW]
WALL 1	0,25	28,0					
WALL 2	0,25	28,0					
WALL 3	0,25	28,0					
WALL 4	0,25	28,0					
FLOOR	0,25	28,0					
CEILING	0,25	28,0					
AIR CHANGE (natural infiltration only)							
T _{AIR,IN} [°C]: 28,0	RH _{AIR,IN} [%]: 50	Volume flow [m ³ /h]: 1					Q _{INFILT} : 0,019 [kW]
ACF: 24,0 [room vol. pr 24 hour] (ACF recommended: 70,0) Volume flow: 1 [m ³ /h]							
COOLING AND FREEZING OF GOODS							
Quantity [kg]	T _{IN} [°C]	T _{COOL} [h]	Type	Q _{MAX} [kW]	Q _{AVG} [kW]	Q _{MAX} : 0,000 [kW] Q _{AVG} : 0,000 [kW]	
1	0	15,0	Diary products	0,000	0,000		
2	0	15,0	Diary products	0,000	0,000		
AUXILIARY LOADS							
No. of persons [-]: 0	Work type: Light	q: 182 [W/person] at T _{ROOM} : -4,0 [°C]					Q _{AUX} : 0,250 [kW]
Fans [kW]: 0,250	Lights: 0	[W/m ²]	Other equipment [kW]: 0,000				
Heat of respiration [W]: 0	Hours of operation per 24 h [h]: 24						
Maximum cooling demand: 0,317 [kW] at SHR: 97 [%]				Average cooling demand: 0,317 [kW] at SHR: 97 [%]			

Şekil 3. Cool Pack Programının Soğutma Yüğü Hesabı Ekran Görüntüsü.

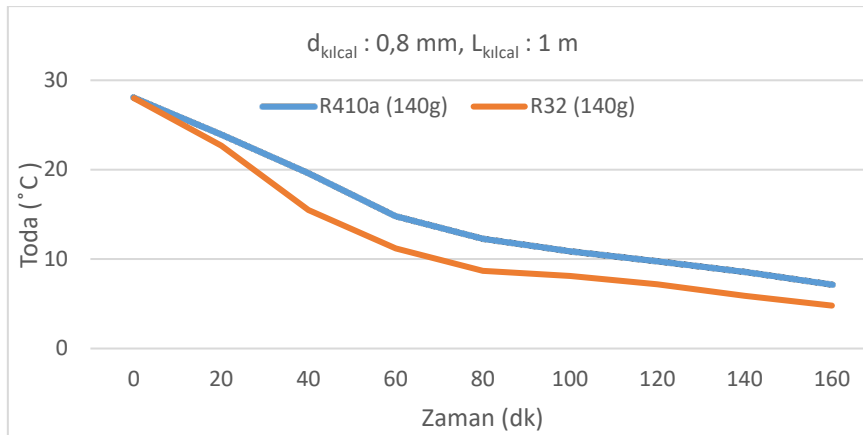
Deney düzeneği tasarlanırken, en büyük değerler seçilmiş olup, bu sayede mümkün olan en geniş aralıkta çalışabilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Odanın soğutulması buhar sıkıştırma mekanik soğutma çevrimi ile gerçekleştirilmiştir. Sistemde soğutma elemanları olarak; kompresör, evaporatör, kondenser, kılcal boru, gözetleme camı ve R410a ile R32 akışkanları kullanılmıştır. Sistemde kılcal boru olarak 0,8 mm, 1 mm ve 1,2 mm iç çaplarında ve farklı uzunluklarda kılcal borular kullanılmıştır. Her bir kılcal borunun girişine küresel vana konularak çevrimin istenildiği zaman istenilen şartlarda çalıştırılabilmesi imkânı doğmuştur. Ayrıca sisteme farklı gramajlarda R410a ve R32 akışkanları verilerek deneyler yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Akışkan Miktarı Ve Kılcal Boru Ebatlarının Oda Sıcaklığına Etkisi

Kabin sıcaklığı 28 °C'deyken kılcal boru çapı 0,8 mm ve uzunluğu 1 m olan sisteme sırayla 140'ar gram R32 ve R410a akışkanları şarj edilmiştir. 20 dakikada bir odanın sıcaklığı ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Yapılan tüm deneylerde 20 dakikada bir odanın sıcaklığı ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

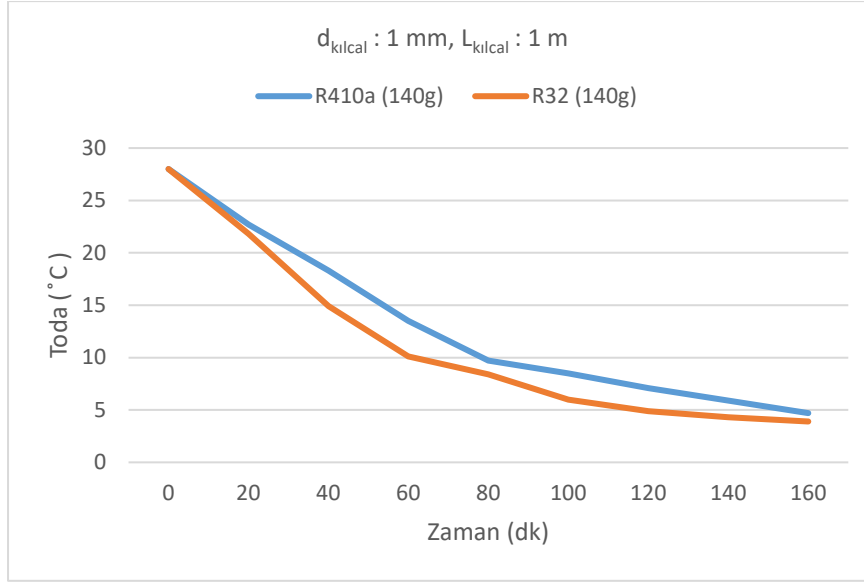
Şekil 3'deki grafikte oda sıcaklığının zamana göre değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 160 dakikanın sonunda R410a akışkanının oda sıcaklığını 7,2 °C'ye kadar düşürdüğü, R32 akışkanının ise 4,8 °C'ye kadar düşürdüğü görülmüştür. Oda sıcaklığı istenilen sıcaklık olan -4 °C'ye yaklaşamamıştır. Basma hattında fazla basınç olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 140 gr. akışkanın sisteme fazla geldiği kanısına varılmıştır.



Şekil 3. 0,8 mm Çapında ve 1 m Uzunlukta Kılcal Borulu ve 140 gr. Akışkan Şarjı Yapılan Deney Düzenineğinin Sıcaklık Zaman Grafiği.

Kabin sıcaklığı 28 °C’deyken kılcal boru çapı 1 mm ve uzunluğu 1 m olan sisteme sırayla 140’ar gram R32 ve R410a akışkanları şarj edilmiştir. 20 dk.da bir odanın sıcaklığı ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

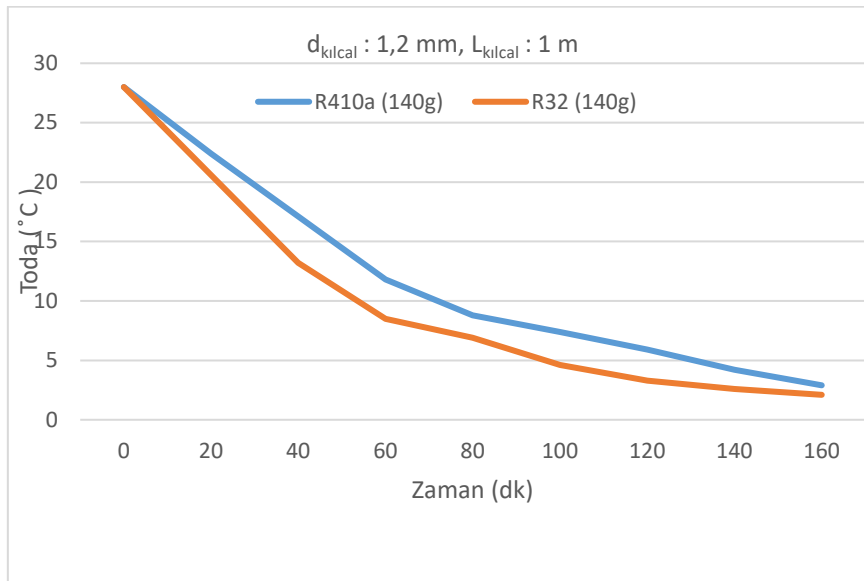
Şekil 3’deki grafikte oda sıcaklığının zamana göre değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 160 dakikanın sonunda R410a akışkanının oda sıcaklığını 4,7 °C’ye kadar düşürdüğü, R32 akışkanın ise 3,9 °C’ye kadar düşürdüğü görülmüştür. Kılcal borunun çapı arttığından dolayı basma hattındaki basınçta bir miktar düşüş olduğu görülmüştür. Oda sıcaklığı istenilen değere ulaşamamıştır.



Şekil 4. 1 mm Çapında ve 1 m Uzunlukta Kılcal Borulu ve 140 gr. Akışkan Şarjı Yapılan Deney Düzenineğinin Sıcaklık Zaman Grafiği.

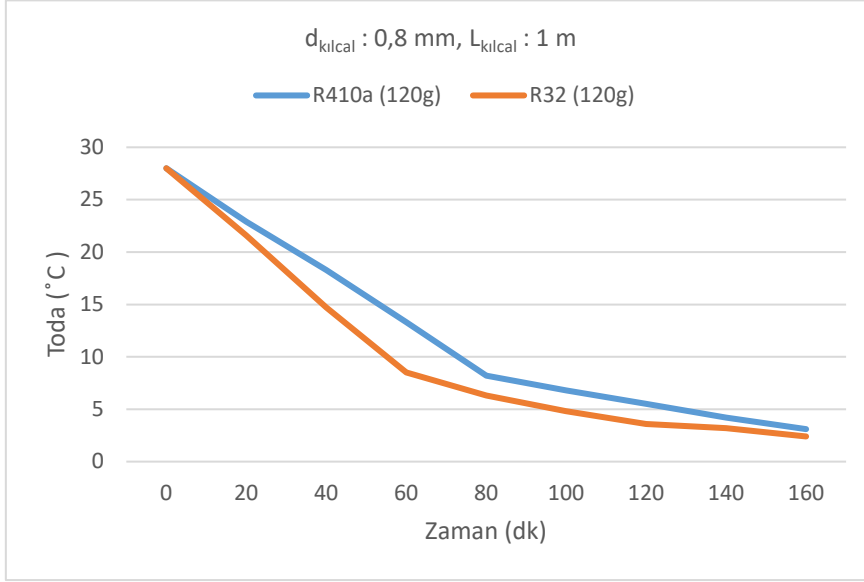
Kabin sıcaklığı 28 °C’deyken kılcal boru çapı 1,2 mm ve uzunluğu 1 m olan sisteme sırayla 140’ar gram R32 ve R410a akışkanları şarj edilmiştir.

Şekil 4’deki grafikte oda sıcaklığının zamana göre değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 160 dakikanın sonunda R410a akışkanının oda sıcaklığını 2,9 °C’ye kadar düşürdüğü, R32 akışkanın ise 2,1 °C’ye kadar düşürdüğü görülmüştür. Oda sıcaklığı istenilen değerlere ulaşamamıştır. Basma hattı basıncının düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 1,2 mm Çapında ve 1 m Uzunlukta Kılcal Borulu ve 140 gr. Akışkan Şarjı Yapılan Deneysel Düzeninin Sıcaklık Zaman Grafiği.

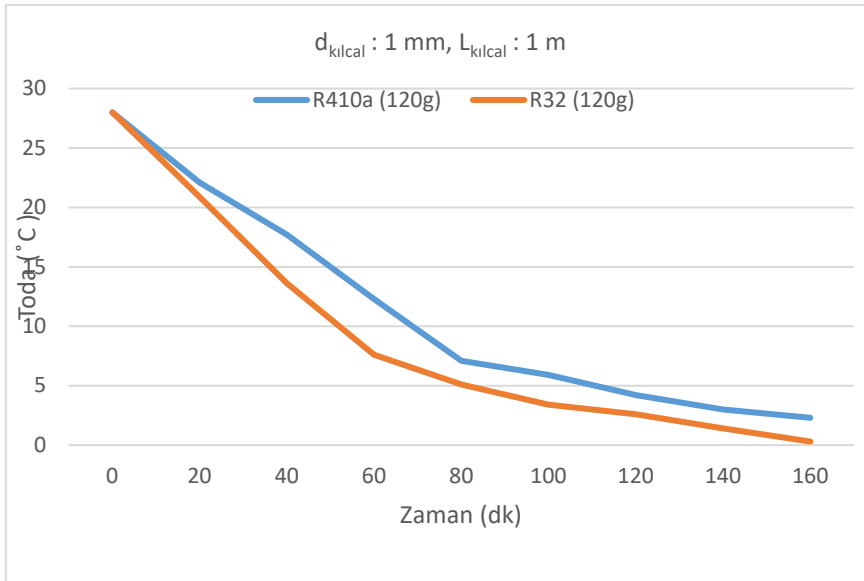
Kabin sıcaklığı 28 °C'deyken kılcal boru çapı 0,8 mm ve uzunluğu 1 m olan sisteme sırayla 120'şer gram R32 ve R410a akışkanları şarj edilmiştir. Şekil 5'deki grafikte oda sıcaklığının zamana göre değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 160 dakikanın sonunda R410a akışkanının oda sıcaklığını 3,1 °C'ye kadar düşürdüğü, R32 akışkanın ise 2,4 °C'ye kadar düşürdüğü görülmüştür. Akışkan miktarını azaldığından dolayı sistemdeki basıncın da azaldığı görülmüştür. Fakat yine de istenilen oda sıcaklığına ulaşamamıştır.



Şekil 6. 0,8 mm Çapında Ve 1 m Uzunlukta Kılcal Borulu Ve 120 gr. Akışkan Şarjı Yapılan Deneysel Düzeninin Sıcaklık Zaman Grafiği.

Kabin sıcaklığı 28 °C'deyken kılcal boru çapı 1 mm ve uzunluğu 1 m olan sisteme sırayla 120'şer gram R32 ve R410a akışkanları şarj edilmiştir.

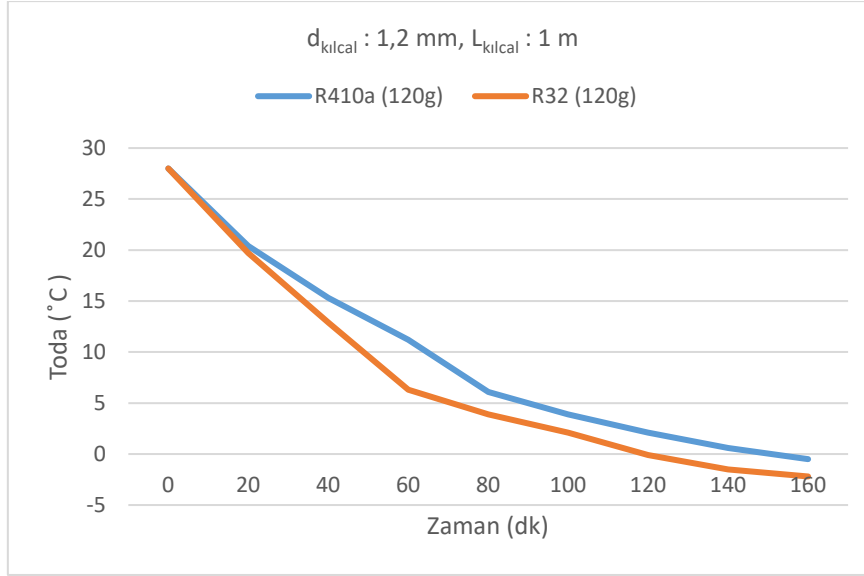
Şekil 6'daki grafikte oda sıcaklığının zamana göre değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 160 dakikanın sonunda R410a akışkanının oda sıcaklığını 2,3 °C'ye kadar düşürdüğü, R32 akışkanın ise 0,3 °C'ye kadar düşürdüğü görülmüştür. Deneysel sonucunda R32 akışkanının oda sıcaklığını yaklaşık 0 °C'ye kadar düşürdüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 7. 1 mm Çapında ve 1 m Uzunlukta Kılcal Borulu ve 120 gr. Akışkan Şarjı Yapılan Deney Düzenliğinin Sıcaklık Zaman Grafiği.

Kabin sıcaklığı 28 °C’deyken kılcal boru çapı 1,2 mm ve uzunluğu 1 m olan sisteme sırayla 120’şer gram R32 ve R410a akışkanları şarj edilmiştir.

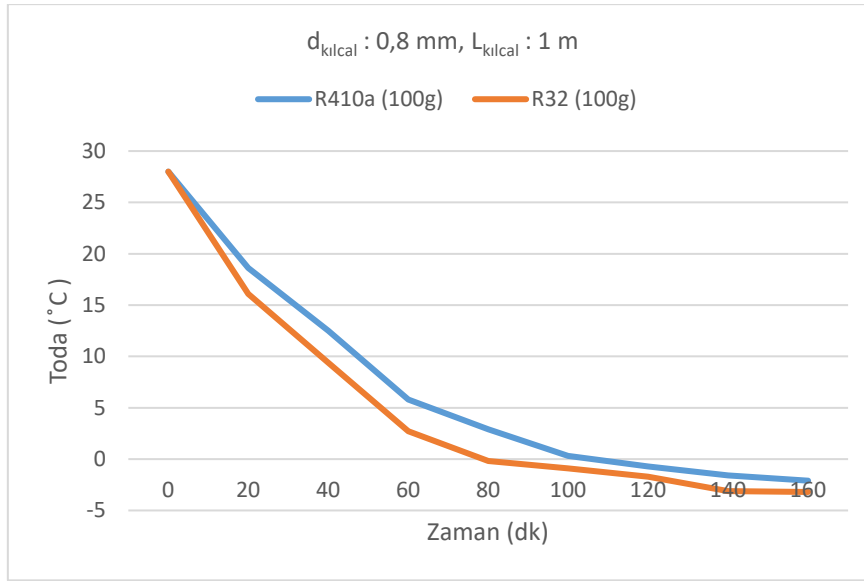
Şekil 7’deki grafikte oda sıcaklığının zamana göre değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 160 dakikanın sonunda R410a akışkanının oda sıcaklığını -0,5 °C’ye kadar düşürdüğü, R32 akışkanın ise -2,2 °C’ye kadar düşürdüğü görülmüştür. Kılcal boru çapındaki artış sayesinde istenilen sıcaklığa biraz daha yaklaşılmıştır fakat bunun yeterli olmadığı görülmüştür.



Şekil 8. 1,2 mm Çapında ve 1 m Uzunlukta Kılcal Borulu ve 120 gr. Akışkan Şarjı Yapılan Deney Düzenliğinin Sıcaklık Zaman Grafiği.

Kabin sıcaklığı 28 °C’deyken kılcal boru çapı 0,8 mm ve uzunluğu 1 m olan sisteme sırayla 100’er gram R32 ve R410a akışkanları şarj edilmiştir.

Şekil 8’deki grafikte oda sıcaklığının zamana göre değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 160 dakikanın sonunda R410a akışkanının oda sıcaklığını -2,1 °C’ye kadar düşürdüğü, R32 akışkanın ise -3,2 °C’ye kadar düşürdüğü görülmüştür. Devamında bu sıcaklıklar sabit kalmıştır. Bu ölçümlerde sistemin daha hızlı soğutma yaptığı ve daha düşük sıcaklıklara ulaştığı görülmüştür. Fakat yine de istenilen sıcaklığa ulaşamamıştır. Ayrıca akışkan miktarı az olduğundan dolayı emme hattında buzlanma oluştuğu görülmüştür.



Şekil 9. 0,8 mm Çapında ve 1 m Uzunlukta Kılcal Borulu ve 100 gr. Akışkan Şarjı Yapılan Deneysel Düzeninin Sıcaklık Zaman Grafiği.

Kabin sıcaklığı 28 °C’deyken kılcal boru çapı 1 mm ve uzunluğu 1 m olan sisteme sırayla 100’er gram R32 ve R410a akışkanları şarj edilmiştir. Şekil 9’daki grafikte oda sıcaklığının zamana göre değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, 160 dakikanın sonunda R410a akışkanının oda sıcaklığını -4,1 °C’ye kadar düşürdüğü, R32 akışkanın ise -4,9 °C’ye kadar düşürdüğü görülmüştür. Devamında oda sıcaklığında belirgin bir değişim olmamıştır. Bu grafikten anlaşılacağı üzere oda sıcaklığı istenilen değerlere ulaşmıştır. Fakat sistemdeki akışkan miktarı az olduğundan dolayı emme hattındaki buzlanma sorunu devam etmektedir.

4. SONUÇLAR

Sistem Ekim, Kasım ve Aralık aylarında R32 ve R410a soğutucu akışkanları farklı miktarlarda şarj edilerek ve farklı ebatlarda kılcal borular kullanılarak test edilmiştir. R32 akışkanı kullanılarak -4,1 °C’ye 0,8 mm çapında ve 1,5 m uzunluğundaki sisteme 100 gr. şarj edildiğinde ulaşabilirken R410a gazı ise -4,4 °C’ye 1 mm çapında ve 1,5 m uzunluğundaki sisteme 100 gr. şarj edilerek ulaşabilmektedir. Yukarıda bahsi geçen soğutucu akışkanların deneysel olarak incelenmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kılcal borunun iç çapındaki artış, kütleli debiyi artırmaktadır.
- Kılcal borunun uzunluğundaki artış, kütleli debiyi azaltmaktadır.
- Sisteme verilen akışkan miktarının artması ile birlikte kütleli debi de artmaktadır.
- Tasarım şartlarının aynı olması durumunda, R32 soğutucu akışkanı, R410a soğutucu akışkanına göre, soğutma kabini daha kısa sürede soğutmaktadır.
- Aynı şartlarda soğutma için R410a’ya göre R32 soğutucu akışkanı daha az miktarda sisteme şarj edilmiştir. Bu da daha az akışkan miktarı kullanılarak tasarrufa gidilebileceğini göstermektedir.
- Genel olarak bakıldığında R32’nin daha verimli olduğu görülmüştür. Ancak yanıcı olması nedeniyle sisteme şarj edilirken dikkatli olunması gerektiği göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

Altınok, İ. (2008). R-508b Gazı ile Çalışan Kaskat Soğutma Sisteminde Kılcal Boru Boyunun Analizi. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye*, 15-19.

Bansal PK, Rupasinghe AS. (1996). An empirical correlation for sizing capillary tubes. *Int J Refrigeration*, 19(8):497– 505.

Bittle RR, Pate MB.(1996). A theoretical model for predicting adiabatic capillary tube performance with alternative refrigerants. *ASHRAE Trans*, 102(2):52–64.

- Bolaji, B.O. (2010). Experimental Study of R152a and R32 to Replace R134a in a Domestic Refrigerator, *International Journal of Energy*, 3793-3798.
- Bolstad NM, Jordan RC. (1949). Theory and use of the capillary tube expansion device; part II, non-adiabatic flow. *Refrigerating Eng* 1949;57(6):572–83.
- Choi JM, Kim YC. (2002). The effects of improper refrigerant charge on the performance of a heat pump with an electronic expansion valve and capillary tube. *Energy*, 27(4):391–404.
- Dirik E, Inan C, Tanes MY. (1949). Numerical and experimental studies on adiabatic and non-adiabatic capillary tubes with HFC-134a. In: *Proceedings of the Int. Refrigeration Conf.* at Purdue, West Lafayette, Indiana, USA; 1994. p. 365–70.
- Escanes F, Perez-Segarra CD, Oliva A. (1995). Numerical simulation of capillary-tube expansion devices. *Int J Refrigeration*, 18(2):113–22.
- Melo C, Ferreira RTS, Neto CB, Goncalves JM, Mezavila MM. (1999). An experimental analysis of adiabatic capillary tubes. *Applied Thermal Eng.*,19:669–94.
- Stoecker, W.F., Jones J.W. (1982). Refrigeration and Air Conditioning, *McGraw-Hill*, 262–72, 1982.
- Wong TN, Ooi KT. (1996). Adiabatic capillary tube expansion devices: a comparison of the homogeneous flow and separated flow models. *Applied Thermal Engineering*, 16(7):625–34.
- Yakut, A. (2014) AB Yeni F Gaz Regülasyonu ve Alternatif Akışkan R32. *Daikin Akademi*, Türkiye, 5-6.
- EES.(2012). *F-Chart Software*.
- Zhang, Y.A. (2014). Prediction Model For Adiabatic and Diabatic Capillary Tubes With Alternative Refrigerants. *PhD Thesis, Submitted to the Office of Graduate and Professional Studies of Texas A&M University, Texas, USA*, 1-3.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 23.09.2019
Kabul Tarihi : 10.12.2019

Received Date : 23.09.2019
Accepted Date : 10.12.2019

NORMAL KATILAŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Al-Mg-Ti-B ALAŞIMININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Al-Mg-Ti-B ALLOY PRODUCED BY CONVENTIONAL SOLIDIFICATION

Hakan YAYKAŞLI^{1*} (ORCID: 0000-0001-5729-9662)

Musa GÖĞEBAKAN² (ORCID: 0000-0001-5104-2874)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fizik Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Hakan YAYKAŞLI, hakanyaykasli@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ (at.%) alaşımları normal katılaştırma yöntemi ile külçeler halinde üretilmiştir. Alaşımların yapısal ve morfolojik özellikleri, X-ışını difraksiyonu (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile incelendi. Alaşımların mekanik özellikleri Vickers mikrosertlik(HV) cihazı ile incelenmiştir. Sonuçlar Mg, Ti ve B atomlarının; α -Al, Al_3Mg_2 ve Al_3Ti katı çözeltilisini oluşturmak üzere Al kafesi içinde çözüldüğünü göstermiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sonuçları alaşımların mikro yapısının çubuksu fazlardan oluştuğunu göstermiştir. $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımın mikrosertlik değeri $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ alaşımın mikrosertlik değerinden daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuç Bor ilavesinin alaşımın mikrosertlik değerinde artışa neden olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Hafif alaşımlar, Mikrosertlik, Mikroyapı, Katılaştırma, Bor

ABSTRACT

In this study, $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ and $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ (at. %) alloys were produced as ingots by conventional solidification (CS). The structural and morphological properties of the samples were studied by using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM/EDX). The mechanical properties the alloys were investigated by Vickers microhardness (HV) tester. Results indicated that all Mg, Ti and B atoms were dissolved into the Al lattice to form α -Al, Al_3Mg_2 and Al_3Ti solid solution. Scanning electron microscopy (SEM) results showed that the microstructure of the alloys consists of rod-like phases. The hardness of $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alloy was higher than that of $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ alloy. This result shows that the addition of boron leads to an increase in the hardness value of the alloy.

Keywords: Light Alloys, Micro-Hardness, Microstructure, Solidification, Boron

GİRİŞ

Alaşımlar bazı üstün özelliklerinden dolayı sanayinin birçok alanında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle hafif alaşım malzemelerin üretilmesi, özelliklerinin geliştirilmesi ve üretim maliyetin düşürülmesi gibi konular araştırmacıların ilgisini çekmekte ve bu konuda yapılan çalışmalar artarak devam etmektedir (Cai ve ark., 2013). Al (2.70 g/cm^3), Mg (1.74 g/cm^3), Si (2.33 g/cm^3), B (2.47 g/cm^3), Ti (4.51 g/cm^3) gibi yoğunlukları düşük elementlerden oluşan alaşımlar hafif alaşımlar olarak bilinmektedir. Bu elementleri içeren Al-esaslı ve Mg-esaslı alaşımların; özgül ağırlıklarının düşük, korozyona karşı dirençli ve kolay şekillendirilebilir olması, ısı iletkenliğinin yüksek, birim fiyatının düşük olması gibi özelliklerinden dolayı çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın bir kullanımı bulunmaktadır (Ma ve ark., 2015). Örneğin, Mg-Al-Ti-B dördü alaşımına, titanyum borür katkılılandırılmasıyla oluşturulan malzemenin yüksek akma ve çekme dayanımını sağladığı tespit edilmiş ve bu malzemenin hafif uygulamalar için potansiyelinin olduğu görülmüştür (Lu ve ark., 2002).

Al-esaslı alaşımlarının her geçen gün yeni kullanım alanları açılmakta olup bu kullanım alanları; başta otomotiv sanayi olmak üzere ev eşyalarından uzay teknolojisine kadar geniş bir alana yayılmıştır. Diğer taraftan Al-esaslı ve Mg-esaslı alaşımlar mikroyapısı tamamen farklı olan ve yararlı malzemeler olarak bilinen amorf, nanokristal ve kuazikristal yapıda üretilmektedir. Amorf, nanokristal ve kuazikristal malzemeler birçok üstün özellikler sergilemektedir. Al-esaslı hafif malzeme üretiminde genellikle Mg, Si, Ti, Zn ve Cu gibi elementler tercih edilmektedir. Bu elementlerle Al-esaslı ikili, üçlü ve çoklu alaşım üretimi, özelliklerinin araştırılması ve geliştirilmesi konusunda yapılan çalışmalarda, alaşımı oluşturan element sayısı ve bu elementlerin alaşım içerisindeki oranları alaşımın özelliklerini etkileyen en önemli faktör olduğu rapor edilmiştir. Aynı zamanda alaşımların mikro yapıları ile özellikleri arasında doğrudan bir ilişkinin olduğu belirtilmiştir. Malzemelerin mikroyapısı tekli veya çoklu intermetallik fazlardan oluşmaktadır. Malzemenin mikroyapısını oluşturan fazların sayısı, boyutu, malzeme içindeki dağılımı gibi durumlar malzemelerin özelliklerini etkileyen önemli faktörlerdir. Nano boyutlu intermetallik fazların malzeme boyunca homojen dağılımı malzemenin başta mekanik özellikleri olmak üzere birçok özelliğini olumlu olarak etkilemektedir (Povstugar ve ark., 2009). Al-esaslı ve mikroyapısı nano parçacıklardan oluşan bir alaşımın mekanik özelliği, kristal yapıyla alaşımların mekanik özeliğinden üç kat daha iyidir (Gögebakan, 2002).

Alaşımların özellikleri ile mikroyapıları arasındaki ilişki tespit edildikten sonra istenilen mikroyapıda alaşım üretmek için birçok teknik geliştirilmiştir (Shi ve ark., 2017). Bu tekniklerden en çok kullanılanları; hızlı katılaştırma, mekaniksel alaşımlama, ark-ergitme ve gaz atomizasyon gibi tekniklerdir. Bu teknikler kullanılarak birçok Al-esaslı alaşım amorf, nano kristal ve kuazikristal yapıda başarı bir şekilde üretilmiştir. Bu teknikler hafif alaşım üretiminde de tercih edilen tekniklerdir. Hafif alaşımların külçe halinde üretiminde tercih edilen diğer bir teknik normal katılaştırma tekniğidir (Candan & Candan, 2018). Normal katılaştırma tekniğinin tercih edilmesinin en önemli nedenleri; alaşım üretme süresinin kısa olması, malzemelerin istenilen geometrik yapıda ve miktarda üretilmesi ayrıca üretim maliyetinin ucuz olmasıdır (Başaranel & Saklakoğlu, 2012). Bunun yanı sıra eritme ve döküm işleminin hızlı ve seri üretim yapılabilir olması normal katılaştırma yönteminin sanayide yaygın olarak tercih edilme nedenlerindedir. Al-esaslı alaşımlar konusunda birçok çalışma olmasına rağmen, Al-Mg-Ti-B alaşımları konusunda çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada Al-esaslı alaşımların yapısal ve mekanik özelliklerine Mg, Ti ve B elementlerinin etkisini incelemek için $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının normal katılaştırma yöntemi ile külçeler halinde üretilmiştir. Alaşım içerisindeki Mg ve Ti oranları sabit tutularak, Al oranı azaltılıp, B oranı artırılarak bu değişimin üretilen alaşımın mikroyapısındaki ve mekanik özelliklerdeki etkisi araştırılmıştır. İki farklı kompozisyonda üretilen alaşımların mikro yapısı ve faz analizi X-ışını difraksiyonu (XRD) ile incelendi. Alaşımların morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile karakterize edilmiştir. Alaşımların mekanik özelliği Vickers mikrosertlik(HV) testi ile karakterize edilmiştir.

MATERYAL YÖNTEM

Bu çalışmada incelenen $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımları normal katılaştırma tekniği ile külçe halinde üretilmiştir. Alaşımı oluşturan başlangıç metalleri Alüminyum (Al), Magnezyum (Mg), Titanyum (Ti) ve Bor (B) elementleri $99 \pm 0.4\%$ saflıkta, merck firmasından alınmıştır. Alaşımlar MTI- SP-15A taşınabilir yüksek frekanslı indüksiyon ısıtma ünitesiyle ergitme işlemi yapılmıştır. Ergitme işlemleri grafik pota içerisinde gerçekleştirilmiştir. Alaşımın ergitme işlemi sırasında oksitlenmesini önlemek amacıyla grafit potanın ağız kısmından yüksek saflıkta argon gazı verilmiştir. Ergitme işlemi, ilk olarak alüminyum ile başlanılmıştır. Alüminyum sıvı hale geçince indüksiyon ısıtıcının akımını ve voltajını artırarak sıvı alüminyuma farklı oranlarda saf titanyum ve bor elementleri ilave edilmiştir. Alaşımın akışkan sıvı durumuna geldiğinde eriyik alaşımın sıcaklığı $750 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye düşürülerek bu sıcaklıkta magnezyum elementi ilave edilmiştir. Sıvı alaşımın sıcaklığı her aşamada CEM DT 8869H çift lazerli uzaktan sıcaklık ölçer ile yapılmıştır. Alaşımın ergitme işlemi 30 dakika sürmüştür. Her beş dakika bir 30 saniye karıştırma işlemi yapılmıştır. Karıştırıcı malzeme olarak paslanmaz çelik kullanılmıştır. Daha sonra oda sıcaklığındaki metal(pik döküm) kalıbına içerisine sıvı eriyik alaşımın döküm işlemi yapılmıştır. Oda sıcaklığı şartlarında soğutularak külçe alaşım elde edilmiştir. Elde edilen alaşımların üretimi aynı şartlarda yapılmıştır. Alaşımların soğuma işlemlerinin bitmesiyle beraber yapısal ve mekanik özelliklerinin araştırılması için metalografik hazırlıklar yapılmıştır. Külçe alaşımlar, struers minitom marka hassas kesme cihazı ile kesilerek numuneler incelenebilir boyutlara getirilmiştir. Daha sonra metkon marka DMT-CON iletken akrilik soğuk kalıplama ile bakalite alınarak, kaba 180 mikron, ince 1200 mikron zımparalama işlemlerinden sonra 1 ve 2 mikronluk parlatma çuhaları ile alaşımların yüzeyleri parlatılmıştır. Alaşımların mikroyapı ve faz analizleri X-ışını difraksiyonu (XRD) ile yapıldı. Bunun için Panalytical Philips X'Pert PRO marka XRD cihazı, 40 kV ve 30 mA olarak ayarlı, monokromatik $CuK\alpha$ radyasyonu ($\lambda = 0.154056 \text{ nm}$) şartlarında kullanıldı. XRD analizleri; 20° den 100° ye kadar

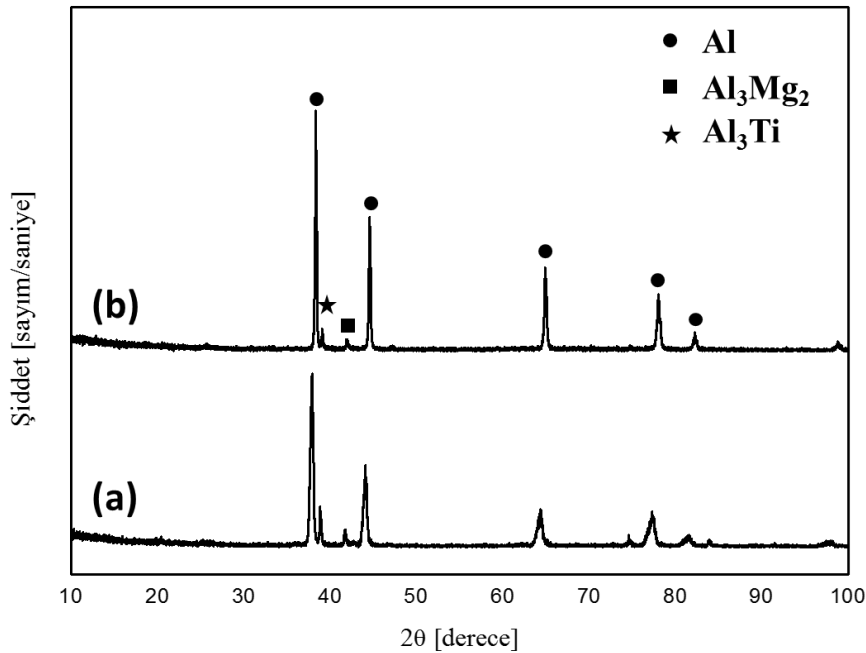
0.02° adım aralığında ve her adımda 1 s bekletilerek ölçümler alınmıştır. Soğuk bakalite alınarak parlatılan alaşımların morfolojik özellikleri ZEISS EVO LS10 marka SEM cihazında, EHT:20 keV potansiyeli BSD dedektörü kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca SEM cihazına bağlı Bruker Marka EDX dedektörü ile alaşımların kompozisyon oranları belirlenmiştir. Alaşımların mikrosertliklerini ölçmek için Vickers uçlu Shimadzu HMV-2 model mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Ölçümler; 9.807N (HV1) yükte 15 s bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Vickers mikrosertlik değeri aşağıdaki eşitlikle (Eş.1) hesaplanmıştır.

$$HV = \frac{2 P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1.854 (P)}{d^2} \quad (1)$$

Burada; P uygulanan yük, d uygulanan yükün oluşturduğu izin köşegen uzunluğu, θ elmas ucun zıt yüzeyleri arasındaki açı olup, 136° 'dir. Ölçüm yapılan her bir numunenin 10 farklı bölgesinden alınan mikrosertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır.

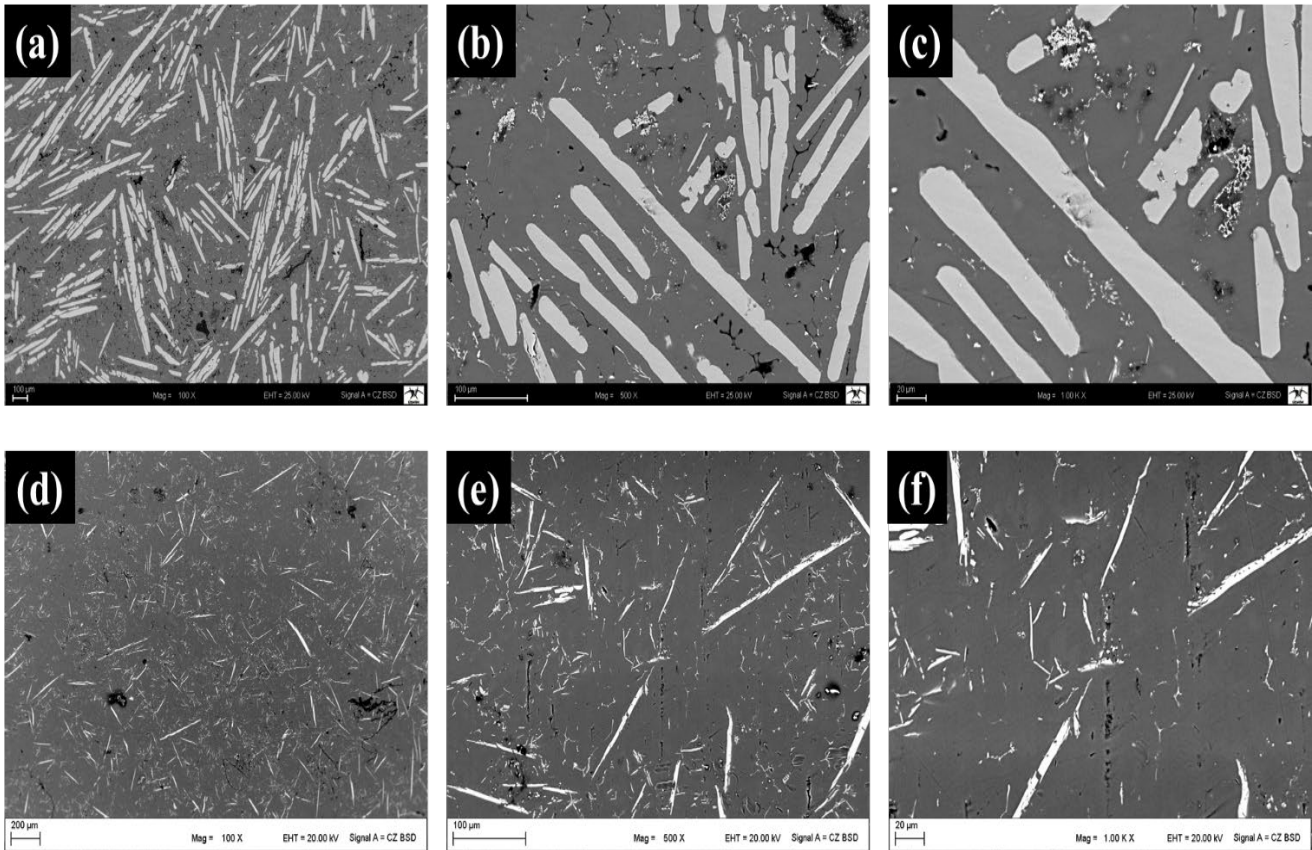
BULGULAR VE TARTIŞMA

Normal katılaştırma ile üretilen $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımların mikro yapıları ve faz analizleri XRD ile incelenmiştir. Alaşımların faz tanımlamaları X'Pert High Score yazılımı, ICDD-PDF 2 kütüphanesi ile belirlenmiştir. Bu alaşımların XRD grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi normal katılaştırma ile üretilen alaşımların mikro yapıları; kübik α -Al (ICDD Card No: 01-089-2837), hegzagonal Al_3Mg_2 (ICDD Card No: 00-001-1132) ve hegzagonal Al_3Ti (ICDD Card No: 00-014-0451) gibi intermetalik fazlardan oluşmaktadır. Şekil 1'de açıkça görüldüğü gibi bu fazlar arasında α -Al fazı en şiddetli yansıma pikine sahiptir ve bu fazlardan yansıyan pikler; $2\theta = 38.37^\circ, 44.60^\circ, 64.92^\circ, 78^\circ$ ve 82.19° açılara karşılık etmektedir. Her iki alaşımların mikroyapısının aynı fazlardan oluşmasının nedeni, her iki alaşımların da aynı elementleri içermesindedir. Bu alaşımların mikroyapısında B içerikli bir fazın gözlenmemesi, alaşım içerisindeki B oranının az olması ve B'nin Al içerisinde çözünübilirlik miktarının fazla olması olarak tahmin edilmiştir. Alaşımda bulunan B'nin tamamı, Al içerisinde çözülerek α -Al fazını oluşturmuştur. α -Al fazı, saf Al fazından farklıdır ve belli miktarda B, Mg ve Ti içermektedir. Bazı durumlarda α -Al fazı α -Al(Mg, Ti, B) şeklinde de ifade edilebilmektedir. Literatürlerdeki çalışmalarda benzer sonuçlar bulunmaktadır (Bu ve ark., 2013; Huashun ve ark., 2004). Diğer taraftan Şekil 1'de görüldüğü gibi XRD sonuçların en şiddetli pikin α -Al fazından yansıması alaşımların mikro yapısındaki α -Al fazının hacim oranının en büyük olduğunu göstermektedir. Normal katılaştırma ile üretilen $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımların mikro yapılarında gözlenen α -Al, Al_3Mg_2 ve Al_3Ti fazları, Al-Mg ve Al-Ti faz diyagramları ile uyum içindedir.



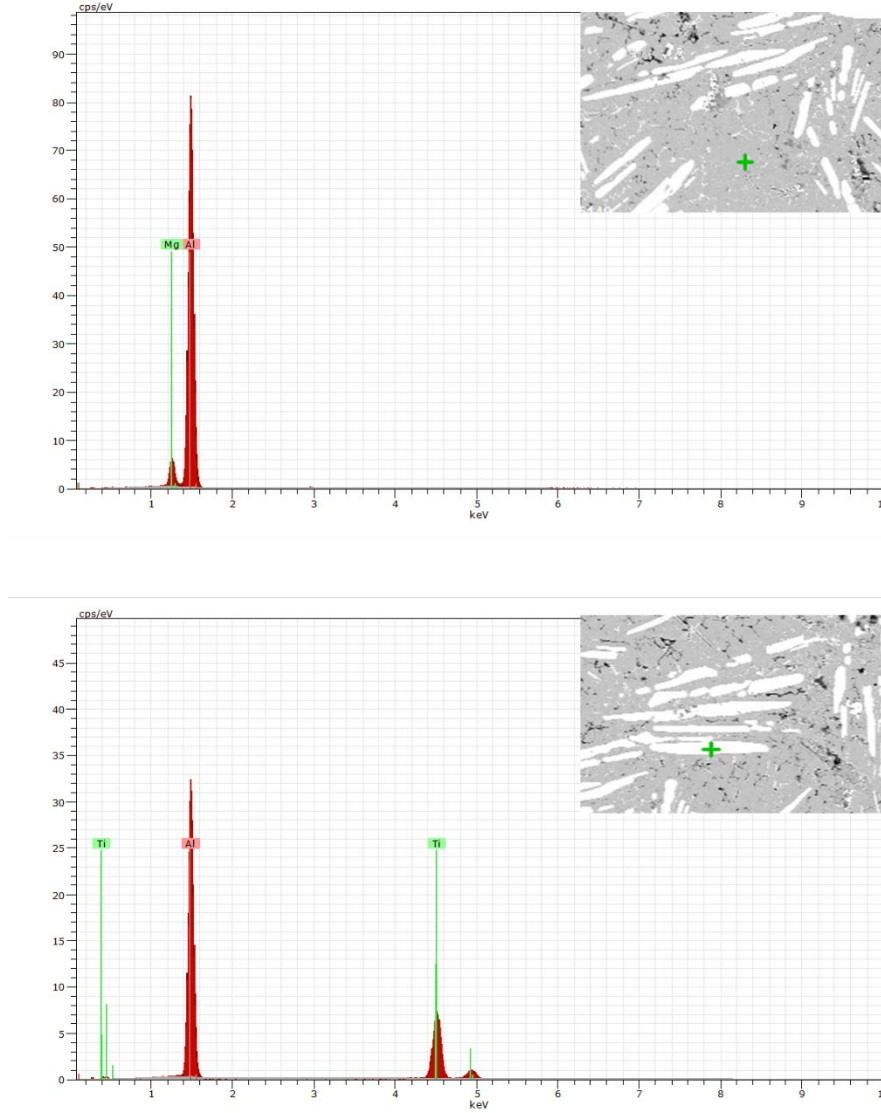
Şekil 1. (a) $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve (b) $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının XRD desenleri

Normal katılaştırma ile alaşımların oluşumu; alaşımı oluşturan elementlerin eriyerek homojen bir karışım oluşması, eriyiğin metal kalıba dökümü ve eriyiğin soğutularak katılaşma süreci şeklinde üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamaların birincisinde alaşımı oluşturan elementlerin erime sıcaklıkları birbirlerinden farklı olduğu için ($Al=933.5$ K, $Mg=922$ K, $Ti=1946$ ve $B=2365$ K) tüm elementlerin eriyerek homojen hale gelmesinden emin olunmalıdır. İkinci aşamada ise eriyik halindeki karışımın dökümünün yapılacağı kalıbın ısı iletim katsayısının yüksek olması ve eriyiğin ısıısının kolayca dışarı vermesinin sağlanması, son aşamada ise malzemenin istenen mikro yapıyı oluşturacak şekilde katılaşmasının sağlanması gereklidir. Bu son aşamada eriyik soğumaya başladığında önce çekirdeklenme ve daha sonra büyüme başlar ve alaşımın mikro yapısını oluşturan fazlar oluşur. Çekirdeklenme ve büyüme eriyiğin tamamı katılaşmaya kadar devam eder. Katılaşan malzemenin mikro yapısı ve morfolojik özelliği soğuma hızına bağlıdır. Normal katılaştırma ile üretilen $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının morfolojik yapılarını incelemek için numuneler SEM ile incelendi. Alaşımların SEM görüntüleri Şekil 2’de görülmektedir. Her iki alaşımın da SEM görüntüleri; 100x, 500x ve 1000x kat büyütme ile elde edilmiştir. Bu alaşımların SEM fotoğraflarında görüldüğü gibi mikro yapıda en belirgin olarak görünen beyaz çubuksu yapılardır. Bunun yanında koyu renkli temel alan ve oldukça az miktarda noktamsı veya küçük kırksı yapılarda görülmektedir. SEM fotoğrafında gözlenen bu üç farklı yapı üç farklı faza karşılık gelmekte ve bu sonuç XRD sonuçları ile uyum içindedir. Alaşımların morfolojisinin çubuksu yapılardan oluşması, katılaşmanın tek yönlü olduğunu göstermektedir. Daha önce yapılan bir çalışmada benzer yöntemle üretilen $Al-Mg-Ti$ alaşımlarında çubuksu fazlar tespit edilmiştir (Huashun ve ark., 2004). Diğer taraftan Şekil 2 (d,e,f)’de görüldüğü gibi $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımının morfolojik yapısının oluşturan parçacıkların boyutu, $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ alaşımındaki parçacıkların boyutundan daha küçüktür. Bu sonuç alaşımdaki B oranının artması ile tanecik boyutunun küçüldüğünü göstermektedir. Yani bor oranının artışı alaşımın mikroyapısında tane inceltici etkiye neden olmuştur. Bu sonuçlar daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Çağlar & Kurnaz, 2003). Diğer taraftan normal katılaştırma ile üretilen külçe alaşımların tane sınırları arasında boşluklu (porosity) yapılar oluşmuştur, bunun nedeni alaşımı oluşturan elementlerin farklı ergime sıcaklıklarının olmasından ve alaşımın oda sıcaklığında soğutularak katılaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Başaranel ve Saklakoğlu, 2012). Alaşımın yüzeyinde oluşan bu boşluklar üretilen malzemenin kırılma olmasına ve kristal kusuru olarak tanımlanan malzeme içinde dislokasyonların oluşmasına neden olmaktadır. Xu-Guang An ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada benzer sonuçlara ulaştıklarını rapor etmişlerdir (An ve ark., 2016).



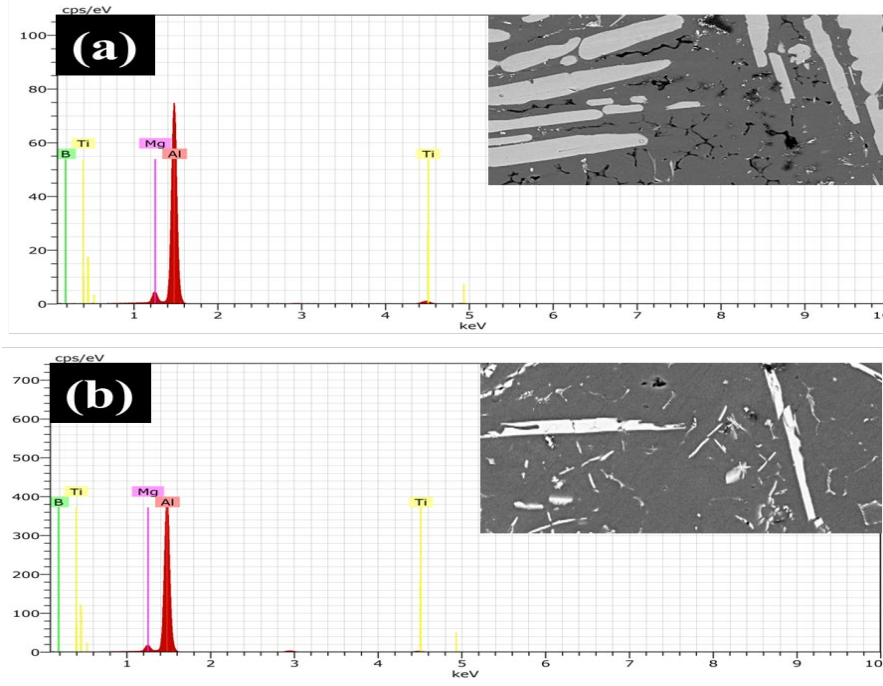
Şekil 2. (a, b ve c) $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ alaşımının, (d, e ve f) $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımının sırasıyla 100x, 500x, 1000x kat büyütülmüş SEM görüntüleri

Şekil 2'deki SEM fotoğrafında görülen ve alaşımların mikro yapısını oluşturan parçacıkları daha detaylı analiz edebilmek için numunelerin noktasal EDX analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir. Noktasal EDX analizi sonucunda, SEM fotoğraflarında görülen çubuksu yapıların alüminyum ile titanyumun katı çözeltili fazlarına ait olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç çubuksu yapıların Al_3Ti fazı olduğunu doğrulamaktadır. Al_3Ti fazı Şekil 1'deki XRD analizinde de gözlenmiştir. Şekil 2'deki koyu renkli bölgelerin ise intermetalik $\alpha-Al$, Al_3Mg_2 fazlarına ait olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar Şekil 1'deki XRD sonuçları ile uyumludur.

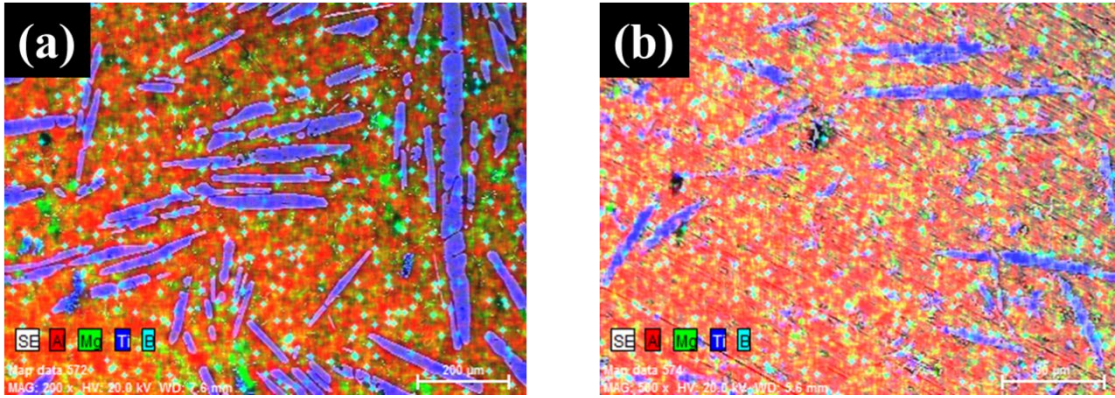


Şekil 3. $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ alaşımının noktasal EDX analiz sonucu

$Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarını oluşturan elementlerin erime sıcaklıkları birbirinden oldukça farklı olduğu için, üretilen alaşımın homojen olması ve başlangıç kompozisyonuna uyumlu olması önemlidir. Bunun için normal katılaştırma ile üretilen alaşımların alan taramalı EDX analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 4(a ve b)'de verilmiştir. Şekil 5(a ve b)'de sırasıyla $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının renkli haritalandırma ile yapılmıştır. Şekil 5(a ve b)'de alaşımı oluşturan elementlerin her biri farklı renklerde gösterilmektedir; Alüminyum kırmızı, magnezyum yeşil, titanyum lacivert ve bor turkuaz renkleri ile temsil edilmiştir. Bu sonuçlara göre üretilen alaşımın kompozisyonunun başlangıç kompozisyonu ile uyumlu ve dağılımın homojen olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre; farklı erime sıcaklığına sahip elementlerle alaşımları külçeler halinde, homojen ve başlangıç kompozisyonuna uygun bir şekilde üretmek için normal katılaştırma metodu uygun bir tekniktir.

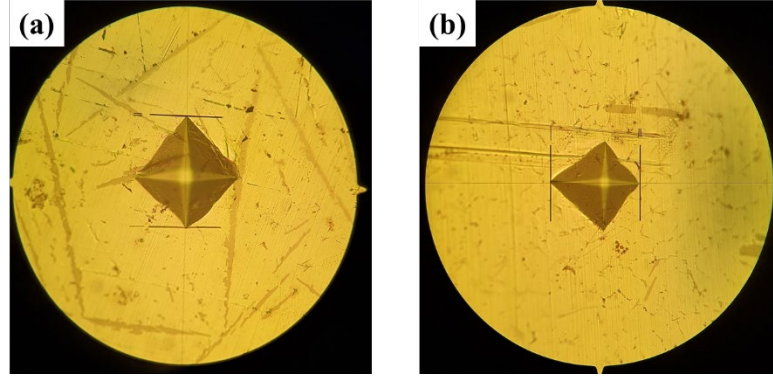


Şekil 4. (a) $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve (b) $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının alan taramalı EDX analiz sonucu



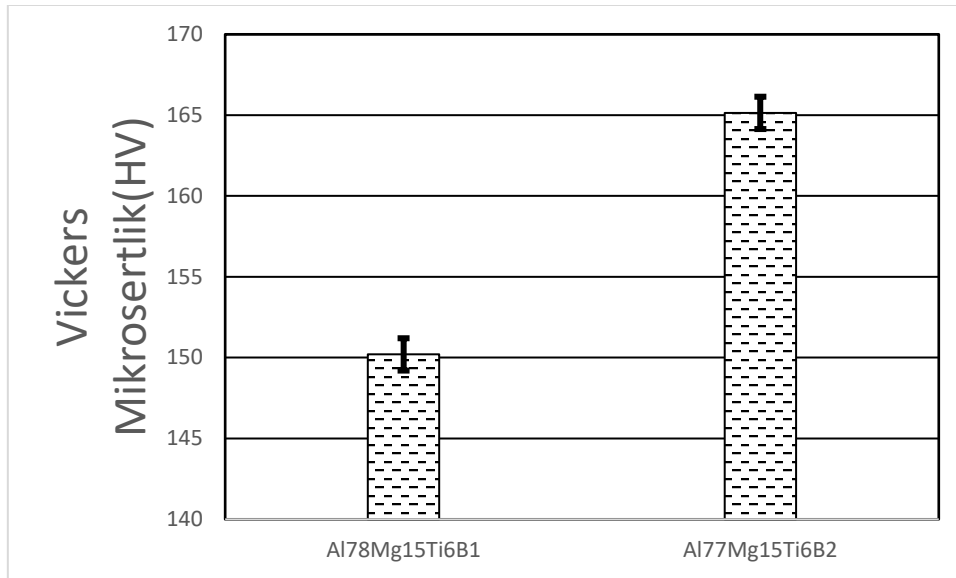
Şekil 5. (a) $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve (b) $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının renkli haritalandırılmış EDX analiz sonucu

Bu çalışmanın amacı yoğunlukları düşük elementlerle külçe halinde hafif alaşımlar üretmektir. Hafif alaşımlara olan ilginin asıl nedeni üstün mekanik özelliklerden dolayı geniş uygulama alanlarının olmasıdır. Bu nedenden dolayı üretilen alaşımların mekanik özelliklerinin bilinmesi önemlidir. Malzemelerin mekanik özellikleri genellikle mikrosertlik testi ve çekme testi vb. testlerle belirlenmektedir. Bu çalışmada alaşımların mekanik özellikleri için mikrosertlik testi seçildi. Bunun nedeni bu testin kolay olması, sonuçların güvenilir olması ve malzemenin diğer mekanik özellikleri hakkında genel bir bilgi vermesidir. Alaşımların mikrosertlik değerlerini ölçmek için önce uygun miktarda numuneler alınarak, bu numuneler bakalite alınmış, zımparalama ve parlatma işlemleri de yapılarak ölçüme hazır hale getirilmiştir. Numunelerin mikrosertlik değerini ölçmek için yüzeye bir yük uygulanmış ve bu yükün yüzey üzerinde oluşturduğu iz ölçülerek mikrosertlik değeri hesaplanmıştır. Malzemenin mikrosertliği, bu izin büyüklüğü ile ters orantılıdır. Şekil 6(a ve b)'da sırasıyla $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının mikrosertlik testi sonucu numunelerin yüzeylerinde oluşan izler görülmektedir. Her numuneden on farklı yüzeyinden ölçümler alınmış ve bu değerlerin ortalaması alınarak mikrosertlik değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 6. (a) $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve (b) $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımının mikrosertlik test sonucu yüzeyde oluşan izlerin görünümü.

Normal katılaştırma tekniği ile üretilen alaşımlara herhangi bir ısıl işlem uygulanmamıştır. Elde edilen alaşımlar döküm sonrası bakalite alma, zımparalama ve parlatma yapılarak mikrosertlik ölçümü yapılmıştır. Şekil 7’de $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımının mikrosertlik değerleri verilmiştir. Şekil 7’de görüldüğü gibi $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının mikrosertlik değerleri sırasıyla; $152,8 \pm 5$ HV ’den $165,14 \pm$ HV olarak hesaplanmıştır. $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımının mikrosertlik değerleri $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ alaşımının mikrosertlik değerinden daha yüksektir. Bu sonuçlara göre alaşım içindeki bor oranının artması, alaşımın mikrosertlik değerini artırmıştır. Bunun nedeni bor’un tane inceltici özellik göstermesi ve bu nedenle kristal boyutunun azalması ve fazların küçülmesi gibi etkiler olmuştur. Bor oranının artmasıyla kristal yapı boyutundaki düşüş gerilme enerjisini artırarak malzemenin mikrosertlik değerinin artmıştır. Bunun yanı sıra alaşımların mikrosertliğinin artmasına etki eden faktörler arasında alaşımın katılaşması sırasında ısı kaybetmesi ile oluşan plastik deformasyon sertleşmesi ve alaşım içerisinde çözünen atomların oluşturduğu katı eriyik sertleşmesi gibi etkenler de vardır (Çağlar & Kurnaz, 2003). Bu gibi etkenler dislokasyon hareketlerini engeller ve malzemenin daha sert olmasını sağlamaktadır (Pracha ve ark., 2019). Bor elementinin tane inceltici özelliği daha önce yapılan çalışmada da rapor edilmiştir (Hekimoğlu ve ark., 2019). Diğer taraftan malzemelerin mikro yapısının değişimi ile malzemenin mekanik özelliklerinde önemli değişimler olduğu bilinmektedir (Avar ve ark., 2019).



Şekil 7. $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımının mikrosertlik değerleri

SONUÇLAR

$Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ (at.%) ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ (at.%) alaşımları normal katılaştırma yöntemi ile külçeler halinde üretilmiştir. Alaşımların mikro yapısında α -Al, Al_3Mg_2 ve Al_3Ti şeklinde üç farklı faz gözlenmiştir. Bu alaşımların morfolojik yapısı, beyaz çubuksu yapılardan, koyu renkli temel alan ve oldukça az miktarda noktamsı veya küçük kırık yapılarından oluşmaktadır. Alaşımların mikro yapısını oluşturan fazların dağılımının homojen olduğu EDX haritalaması ile tespit edilmiştir. Herhangi bir ısı işlem uygulanmayan $Al_{78}Mg_{15}Ti_6B_1$ ve $Al_{77}Mg_{15}Ti_6B_2$ alaşımlarının mikrosertlik değerleri sırasıyla; $152,8 \pm 5$ HV 'den $165,14 \pm$ HV olarak hesaplanmıştır. Alaşım içindeki bor oranının artması, alaşımın mikrosertlik değerinin artırmasına neden olmuştur. Bu çalışma; farklı erime sıcaklığına sahip elementlerle alaşımları külçeler halinde, homojen ve başlangıç kompozisyonuna uygun bir şekilde üretmek için normal katılaştırma metodu uygun bir teknik olduğunu ortaya koymuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından (Proje No: 2017/2-42 D) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- An, X. G., Liu, Y., Ye, J. W., Wang, L. Z., & Wang, P. Y. (2016). Grain refining efficiency of SHS Al-Ti-B-C master alloy for pure aluminum and its effect on mechanical properties. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 29(8), 742–747.
- Avar, B., Şimşek, T., & Gögebakan, M. (2019). Mekanik Alaşımlama ile Üretilen Nanokristal $Fe_{60}Al_{30}Cu_{10}$ (at.%) Tozların Yapısal ve Mekanik Özellikleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(1), 184–192.
- Başaranel, M., & Saklakoğlu, N. (2012). SIMA prosesiyle üretilmiş ETİAL 180 alüminyum alaşımına eser miktarlarda magnezyum ve kalay ilavesinin etkilerinin incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 3(2), 83–90.
- Bu, L. P., Gao, Y., Li, G. L., Zhang, W. D., & De, X. H. (2013). Effect of B_2O_3 on microstructures and mechanical properties of cast Mg-Al-Ti-B alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 23(8), 2260–2264.
- Çağlar, B., & Kurnaz, C. (2003). Sıkıştırma Döküm Yöntemi ile Üretilen Ti-B ilaveli ZA-12 Alaşımının özelliklerinin İncelenmesi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2.Sayı).
- Cai, Y., Wang, C., & Zhang, J. (2013). Microstructural characteristics and aging response of Zn-containing Al-Mg-Si-Cu alloy. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, (7), 659–664.
- Candan, S., & Candan, E. (2018). Comparative study on corrosion behaviors of Mg-Al-Zn alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 28(4), 642–650.
- Gögebakan, M. (2002). Mechanical properties of AlYNi amorphous alloys. *Journal of Light Metals*, 2(4), 271–275.
- Hekimoğlu, A. P., Turan, Y. E., İsmailoğlu, İ. İ., Akyol, M. E., & Şen, E. (2019). Effect of grain refinement with boron on the microstructure and mechanical properties of Al-30Zn alloy. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(1), 523–534.
- Huashun, Y., Kim, J. D., & Kang, S. B. (2004). The formation of AlN and TiN particles during nitrogen bearing gas injection into Al-Mg-Ti melt. *Materials Science and Engineering A*, 386(1–2), 318–325.
- Lu, L., Lai, M. ., Toh, Y. ., & Froyen, L. (2002). Structure and properties of Mg–Al–Ti–B alloys synthesized via mechanical alloying. *Materials Science and Engineering: A*, 334(1–2), 163–172.
- Ma, P., Zhang, D., Zhuang, L., & Zhang, J. (2015). Effect of alloying elements and processing parameters on the Portevin – Le Chatelier effect of Al – Mg alloys. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 22(2), 16–21.

- Povstugar, I. V., Streletskii, A. N., Permenov, D. G., Kolbanev, I. V., & Mudretsova, S. N. (2009). Mechanochemical synthesis of activated Me-BN (Me:Al, Mg, Ti) nanocomposites. *Journal of Alloys and Compounds*, 483(1–2), 298–301.
- Pracha, O., Trudonoshynb, O., Randelzhofer, P., Körner, C., & Durst, K. (2019). Effect of Zr, Cr and Sc on the Al–Mg–S–Mn high-pressure die casting alloys. *Materials Science & Engineering A*, 759(May), 603–612.



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 11.11.2019
Kabul Tarihi : 04.12.2019

Received Date : 11.11.2019
Accepted Date : 04.12.2019

MISIR KOÇANINDA SÜLFÜRİK ASİT, HİDROJEN PEROKSİT VE ULTRASES DALGA ÖN İŞLEMLERİ İLE ÇÖZÜNMÜŞ ŞEKER ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU

OPTIMIZATION OF SOLUBLE SUGAR PRODUCTION OF CORN COB BY SULFURIC ACID, HYDROGEN PEROXIDE AND ULTRASES DALGA PRETREATMENT

Ece Ümmü DEVECİ *¹ (ORCID: 0000-0002-7551-188X)

Çağdaş GÖNEN ¹ (ORCID: 0000-0002-8554-8125)

Gözde ÇETİN ¹ (ORCID: 0000-0003-4612-6170)

¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 51240 Niğde, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ece Ümmü DEVECİ, ecedevceci@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, Niğde ve çevre illerden temin edilen mısır koçanlarında, biyoyakıt potansiyelinin artırılmasında fizikokimyasal (H_2O_2 , H_2O_2+US , H_2O_2 , H_2O_2+US) ön işlemlerin etkisi belirlenmiştir. Uygulanan ön işlemlerin optimizasyonu için istatistikî metot RSM (Response Surface Methods) Box-Behnken tasarımı kullanılmıştır. Tasarımda beklenen yanıtlar Toplam Şeker (TŞ) ve İndirgen Şeker (İŞ) konsantrasyonudur. Model sonuçlarına göre; H_2SO_4 ön işlemleri için 13,13 g/L maksimum TŞ, %3 asit konsantrasyonu, 100°C ve 180 dakika koşullarında; 7,7g/L maksimum İŞ ise %5 asit konsantrasyonu, 100°C ve 180 dakikada elde edilmiştir. H_2SO_4 -US ön işlemleri için 10,72g/L g/L maksimum TŞ, %3 asit konsantrasyonu, 100 kJ/kg DM US dozu ve 30 dakika koşullarında; 3,16g/L'ye maksimum İŞ ise %4,24 asit konsantrasyonu, 100 kJ/kg DM US dozu ve 27,7 dakikada elde edilmiştir. H_2O_2 ön işleminde 1,70 g/L maksimum TŞ %0,15 H_2O_2 , 0,38 mesh ve %1,98 katı oranı koşullarında; 1,24 g/L'ye maksimum İŞ %0,10 H_2O_2 , 0,61 mesh ve %2 katı oranı koşullarında elde edilmiştir. H_2O_2 -US ön işlemleri için 5,70 g/L maksimum TŞ %1 H_2O_2 , 60 kJ/kg DM US dozu ve 5 dakika koşullarında; 1,11 g/L maksimum İŞ %0,1 H_2O_2 , 20 kJ/kg DM US dozu ve 17,5 dakika koşullarında elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, lignoselülozik yapı çözünebilir yapıya dönüştürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyoyakıt Potansiyeli, Mısır Koçanı, İndirgen Şeker, Toplam Şeker.

ABSTRACT

In this study, the effect of physicochemical (H_2SO_4 , $H_2SO_4 + US$, H_2O_2 , $H_2O_2 + US$) pretreatments on increasing the biofuel potential of corn cobs obtained from Niğde and surrounding provinces was determined. The statistical method RSM (Response Surface Methods) Box-Behnken design was used to determine the optimization of the applied pretreatments. The responses used in the design are Total Sugar (TS) and Reducing Sugar (RS) concentration. According to model results; 13.13 g/L maximum TS was achieved 3%acid concentration, 100 ° C and 180 min; maximum RS concentration of 7.7 g/L was achieved at 5 %acid concentration, 100°C and 180 min for H_2SO_4 pretreatment. 10.72 g /L maximum TS was achieved 3%acid concentration, 100 kJ/kg DM US dose and 30 min conditions; maximum RC concentration 3,16 g/L was obtained that an acid concentration of 4.24%, a US dose of 100 kJ/kg DM, and 27.7 minutes for H_2O_2 -US pretreatment. 1.70 g/L maximum TS was reach that 0.15% H_2O_2 , 0.38 mesh and 1.98%solids conditions; 1.24 g/L maximum was achieved under conditions of 0.10% H_2O_2 , 0.61 mesh and 2%solids for H_2O_2 pre-treatment. 5.70 g/L maximum TS was obtained under condition 1% H_2O_2 , 60 kJ/kg DM US dose and 5 min, 1.11 g/L maximum RC was obtained under 0.1% H_2O_2 , US dose of 20 kJ/kg DM and 17.5 minutes for H_2O_2 -US pretreatment. As a result of this study, the lignocellulosic structure was converted to soluble structure.

Keywords: Biofuel oil potential, Corncob, Reduced Sugar, Total Sugar.

GİRİŞ

Dünyada fosil yakıt rezervlerinin azalması, değişken yakıt fiyatları, çevresel etkilerin artışı ve buna bağlı olarak oluşan çevre ve siyasi baskılar alternatif enerji kaynaklarını daha dikkat çekici hale getirmiştir (Behera vd., 2011; Rankovic vd., 2009). Paris iklim zirvesinde alınan kararlara ve ortak antlaşmalara göre fosil yakıtların kontrol altına alınması gerekmektedir. Ayrıca sera etkisinin yanı sıra petrol kaynakları azalmakta ve buna bağlı olarak fiyat artmaktadır. Tüm bu durumlar güneş, rüzgâr, dalga ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları üzerine ilgiyi her geçen gün arttırmaktadır (BP, 2002; Sinha ve Pandey, 2009). British Petroleum (BP) tarafından yayınlanan bir rapora göre petrol, doğal gaz, kömür rezervleri sırasıyla yaklaşık olarak 227 milyar ton, 187,3 trilyon metreküp ve 861 milyar tondur (1 varil: 0,136 ton, 1 m³: 0,0008427 ton). Dünya nüfusunun artışı da göz önüne alındığında kömürün 155 yıl içinde petrol ve doğal gazın ise sırasıyla 41 ve 64 yıl içinde yok olacağı bildirilmiştir (BP, 2013).

Tarımsal üretim faaliyetleri ve günlük yaşamımız sırasında oluşan biyoküteller, yenilenebilir bir enerji kaynağı olup çevre dostudur. Biyokütlenin bulunduğu fiziksel haline göre katı, sıvı ve gaz biyokütle olarak üç kısma ayrılmaktadır. Katı biyokütle kömürü, gaz biyokütle biyogaz veya doğal gazı örnek verirken sıvı biyokütle "biyoyakıt" olarak isimlendirilen biyoetanol, biyodizel, biyometanol, biyodimetiler, biyoiltersiyer, bütiller ve bitkisel yağlar en güzel örnek oluşturabilir (Goldemberg, 2007). Son yirmi yılda lignoselülozik etanol üretimi alternatif biyoyakıt üretiminde popüler bir konu olup konuyla ilgili birçok kapsamlı araştırma vardır (Alvira vd., 2010; Karunanithy ve Muthukumarappan, 2011; Karunanithy ve Muthukumarappan, 2011; Kuhar vd., 2008). Biyokütle esaslı süreçlerin birbiri içinde bütünleşmesi, hammadde modellerinin üretimi için sürdürülebilir gelişme olasılığını sağlayacak bir model oluşturmaktadır. Bu durum, lignoselülozik biyokütlenin petrol bazlı yakıt alternatifini olarak tespit edilmiştir (Behera vd., 2014).

Lignoselülozik atıklar (LSA) selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşmaktadır. Bu yapı içerik olarak kül, protein, pektin vb. diğer malzemeleri de içermekte olup, lignoselülozik içerikler, farklılık gösterebilir (Sanchez, 2009). Bitki hücre duvarı selüloz, hemiselüloz, ligninin birleşmesinden oluşur ve bu yapı içerisinde bulunan karbonhidratlar enzimatik hidroliz ve fermentasyon gibi önışlemlerle kullanılabilir hale getirilirler (Radeva vd., 2012). Lignoselülozik kaynaklar buldukları kaynaklara göre kategorize edilebilir; endüstriyel kaynaklar (talaş, kağıt fabrikası atıkları, gıda sanayi artıkları, vb.), ormancılık atıkları (otlar, sert ve yumuşak ağaç vb.), tarım artıkları (kabuk, mısır koçanı, sap, gıda dışı tohumlar vb), evsel atıklar (mutfak atıkları, kanalizasyon, atık kağıtlar, vb.) ve belediye katı atıklarıdır (Borrion vd., 2012; Talebnia vd., 2010; Wang vd., 2013).

Ticari olarak üretilen biyoyakıtların başında gelen biyoetanolün üretiminde mayalar kullanılmakta olup en sık kullanılan mayalar *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia stipitis* ve *Kluyveromyces marxianus*'dir. Üretim verimliliğinin yüksek tutulması ve mikroorganizmaların dayanıklılığının sağlanması için bir destek malzeme üzerine tutturularak immobilize edilmektedir. Bu şekilde ürün inhibisyonu azalmakta ve ürünün ortamdan uzaklaştırılması kolaylaşmaktadır (Gouveia ve Oliveira, 2009).

1.1 Lignoselülozik Atıklar

Biyokütle; hidrojen, azot, karbon, oksijen ve iz miktarda diğer elementlerden meydana gelen organik maddelerdir. Diğer bir bakışla doğada bulunan sürdürülebilirliği olan bitkiler ve bitki atıkları, hayvansan atıklar, tarım ürünleri ve artık/atıkları, insanların tüketimleri sonucu ortaya çıkan organik içerikli atıklar vb. ürünler biyokütleyi genel manada tanımlamaya yardımcı olmaktadır. Biyokütle enerjisi ise, bu kaynaklardan farklı yöntemlerle elde edilen enerji olarak belirtilebilir (Koçar vd., 2010).

Biyokütle kaynaklarını klasik ve modern olarak ikiye ayırmak mümkündür. Klasik biyokütle kaynakları ormancılık ürünleri, bitkiler ve hayvan atıkları olarak. modern kaynaklar ise, enerji ormancılığı ve tarımı ürünleri, tarımsal ürün artıkları ve organik endüstriyel atıklardır. Bu materyaller lignoselülozik maddeler olarak tanımlanmakta ve yapıları incelendiğinde selüloz, hemiselüloz, lignin, içerdikleri görülmektedir. Selüloz ve hemiselüloz kısımları glikoz, mannoz, galaktoz, ksiloz ve arabinozdan oluşan monosakkaritleri içermektedirler. Tablo 1.'de bazı lignoselülozik maddelerin içerikleri gösterilmiştir.

Tablo 1. Bazı lignoselülozik maddeler ve bileşenleri (Parisi, 1989)

Biyokütle	Selüloz(%)	Hemiselülöz (%)	Lignin (%)
Şeker kamışı	40	30	20
Yaprakları dökülen ağaçlar	40	30	20
Mısır Koçanı	45	35	15
Buğday Sapı	30	50	15
Kozaklı Ağaçlar	40-50	20-30	25-35

Buğdaygiller ailesinde yer alan mısır, tek yıllık bir sıcak iklim tahıl bitkisi olmakla birlikte tropik ve subtropik ılıman iklim kuşağında yetiştirilen mısır, dünyanın hemen her yerinde tarımı yapılabilen bir tahıldır. Dünya üzerinde toplam 1,5 milyar hektar tarım arazisinin tahmini olarak 712 milyon hektarlık tahıl ekimi yapılırken, bu arazilerin 183 milyon hektarında mısır bitkisi ekimi yapılmaktadır. Mısırın tahıl ekiliş alanı içindeki payı %25,7'dir (FAO,2014).

Ülkemizde mısır bitkisi buğday ve arpadan sonra en çok ekim alanına sahip bitkidir. Mısır üretiminin Türkiye'deki durumu ile ilgili veriler Tablo 2'de verilmiştir. Mısır tarımı Akdeniz Bölgesi, Karadeniz Bölgesi, Marmara, Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri içinde yaklaşık 60 ilimizde yapılmaktadır (Tablo 3.).

Tablo 2. Türkiye'de Mısır Ekim Alanı, Üretim ve Verimi (TUİK Bitkisel Üretim İstatistikleri Raporu, 2018)

Yıl	Ekilen alan(ha)	Üretim (ton)	Verim (kg/ha)	Yıl	Ekilen alan(ha)	Üretim (ton)	Verim (kg/ha)
1961	705.000	1.017.000	1,44	2010	593.552	4.310.000	7,26
1970	646.000	1.040.000	1,61	2011	585.713	4.200.000	7,17
1980	583.000	1.240.000	2,13	2012	622.600	4.600.000	7,39
1990	514.665	2.100.000	4,08	2013	659.222	5.900.000	8,95
2000	552.820	2.300.000	4,16	2014	655.663	5.950.000	9,07
2005	600.000	4.200.000	7,00	2015	686.169	6.400.000	9,33
2006	528.284	3.811.000	7,21	2016	679.537	6.400.000	9,42
2007	516.960	3.535.000	6,84	2017*	639.084	5.900.000	9,23
2008	593.710	4.274.000	7,2	2018	615.000	5.600.000	9,10
2009	591.279	4.250.000	7,19	*TUİK / **TMO TAHMİNİ			

Tablo 3. Bölgelere Göre Mısır Ekiliş Alanları Ve Üretimi (Mısır Raporu 2018 / TMO)

BÖLGELER	2014		2015		2016		2017	
	Alan(da)	Üretim (ton)	Alan(da)	Üretim (ton)	Alan(da)	Üretim (ton)	Alan(da)	Üretim (ton)
Marmara	636.925	575.971	621.512	560.791	621.512	560.791	638.541	555.180
Karadeniz	625.993	236.176	656.617	259.171	656.617	259.171	646.288	264.552
İç Anadolu	822.955	828.922	1.004.226	997.578	1.004.226	997.578	1.107.041	1.059.606
Ege	726.518	756.876	740.826	775.132	740.826	775.132	630.914	643.874
Akdeniz	2.001.230	2.053.274	2.016.399	2.148.250	2.016.399	2.148.250	1.866.909	1.942.990
G.D Anadolu	2.027.000	1.916.125	1.173.109	1.630.385	.723.109	1.630.385	1.459.065	1.404.125
Doğu Anadolu	41.078	32.696	37.503	28.693	37.503	28.693	42.084	29.673
Toplam	6.881.699	6.400.000	6.800.192	6.400.00	6.800.192	6.400.000	6.390.842	5.900.000

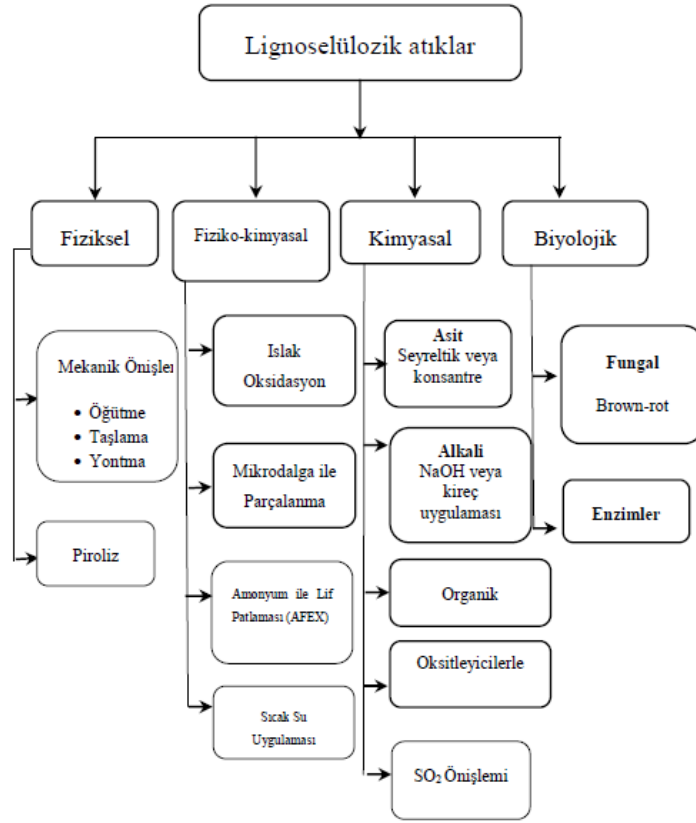
Mısır bitkisi ekim alanının geniş olması, kolay ulaşılabilir olması ve biyoetanol üretimi potansiyelinin de yüksek olması sebebi ile hammadde olarak tercih edilmiştir. Lignoselülozik hammaddelerin biyoetanol üretim potansiyeli bazı hammaddeler için Tablo 4.'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Biyoetanol üretim hammaddeleri ve etanol üretim potansiyelleri (Balat vd., 2007).

Hammadde	Biyoetanol Üretim Potansiyeli (L/ton)
Mısır	360
Şeker kamışı	70
Şeker pancarı	110
Buğday	340
Arpa	250
Pirinç	430

1.2 Lignoselülozik Atıklarda Ön İşlemler

Biyoyakıt üretimi yapılacak olan agro endüstriyel atığın ön işleminden geçmeden önce %nem içeriğine bağlı olarak sıcak hava ile kurutma, güneşte kurutma, vakumla kurutma gibi işlemlerle kurutulmuş depolanması gerekmektedir (Üçgül, 2010). Ön işlemin temel amacı, hidroliz işlemi için yapısal ve içeriksel inhibitörleri biyokütleden ayırmak, lignoselülozik yapıyı gevşetmek ve böylece enzimatik hidroliz oranını ve selüloz ya da hemiselülozdan fermente edilebilir şeker oluşumu miktarını arttırmaktır (Adıgüzel, 2013).



Şekil 1. Lignoselülozik atıklara uygulanabilecek önışlemlerin bazıları

Üretim potansiyelini yakından ilgilendirmesi nedeniyle biyoyakıt potansiyelinin artırılması için önışlemler çok önemlidir. Tüm sistem maliyeti düşünıldüğünde toplam proses maliyetinin %18'i önışlem basamağı için kullanılmaktadır. Önışlem metotları fiziksel, kimyasal, biyolojik ve termo/fiziko olmak üzere dört sınıfta kategorize edilirken bu yöntemler tek başına kullanıldığı gibi birkaç tanesi bir arada olan önışlemlerde kullanılabilir. Asit, baz veya peroksit gibi nötr önışlemler de ayrı değerlendirilirken fiziksel ve termo/fiziko yöntemlerle birlikte kullanılabilir. Lignoselülozik yapıya uygulanan tüm önışlemler Şekil 1.'de verilmiştir

MATERYAL VE METOT

2.1 Mısır Koçanları için Deneysel Metot ve Uygulanan Önışlem

Mısır koçanları, Niğde iline komşu olan Adana ili kırsal alanında yetişen mısırların fabrikasyon uygulamaları sonucunda oluşan atıklardan temin edilmiştir. Temin edilen bu atıklar 50 °C'de 48 saat kurutulmuş ardından değirmende parçalama işleminin yapılmış ve mısır tozu, 0,2 gözlü bir elek ile elenerek meshlerine göre ayrılmış ve + 4°C'de saklanmıştır. Tüm deneyler 250 ml'lik roch şişelerinde sabit %1 katı konsantrasyonu kullanılan koşullarda yürütülmüştür. Tüm deneyler 250 rpm çalkalama hızında sıcaklık kontrollü çalkalamalı etüvde yürütülmüştür. Ultrases dalga deneyleri ise Hielscher UP400S cihazı ile yapılmıştır. Tüm örnekler analizler için filtrelenmiş ve 10.000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Elde edilen süpernatantlarda toplam şeker ve indirgen şeker analizleri yapılmıştır.

2.2 İstatistiksel Metot

Tüm ön işlem deneyleri için Box Behnken istatistiksel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Bu istatistiksel tasarım demeleri etkileyen her faktörün minimum, orta ve maksimum seviyelerinden oluşmak üzere 3 seviyede tasarlanmıştır. Box Behnken tasarımının en önemli avantajları, çok sayıda deneyin azaltılmasını ve faktör limitlerinin kolayca ayarlanabilmesidir. Ayrıca, bu yöntem zaman ve paradan tasarruf sağlar. Laboratuvar koşullarında hazırlanan mısır koçanları H₂SO₄ kullanılan önışlemlerde, kimyasal doz, zaman ve sıcaklık; H₂SO₄-US kullanılan önışlemlerde ultrases dalga ve kimyasal dozu ile zaman tasarımının faktörleri ve düşük (-1), orta (O) ve maksimum (+1) olan tüm seviyelerdir ve değerleri Tablo 5 ve Tablo 6. da verilmektedir.

Tablo 5. Asit Ön İşlemi İçin Bağımsız Değişkenler, Kodları ve Faktör Değerleri

STD	Asit %	Sıcaklık °C	Zaman (dakika)	Asit %	Sıcaklık °C	Zaman (dakika)
1	-1	-1	0	1	50	105
2	+1	-1	0	5	50	105
3	-1	+1	0	1	100	105
4	+1	+1	0	5	100	105
5	-1	0	-1	1	75	30
6	+1	0	-1	5	75	30
7	-1	0	+1	1	75	180
8	+1	0	+1	5	75	180
9	0	-1	-1	3	50	30
10	0	+1	-1	3	100	30
11	0	-1	+1	3	50	180
12	0	+1	+1	3	100	180
13	0	0	0	3	75	105
14	0	0	0	3	75	105
15	0	0	0	3	75	105
16	0	0	0	3	75	105
17	0	0	0	3	75	105

Tablo 6. Asit- Ultrases dalga İçin Bağımsız Değişkenler, Kodları Ve Faktör Değerleri

STD	US Kj/kgDM	Asit %	Zaman (dakika)	US Kj/kgDM	Asit %	Zaman (dakika)
1	-1	-1	0	100	1	17,5
2	+1	-1	0	60	3	17,5
3	-1	+1	0	60	3	17,5
4	+1	+1	0	100	5	17,5
5	-1	0	-1	60	3	17,5
6	+1	0	-1	100	3	5
7	-1	0	+1	20	3	30
8	+1	0	+1	60	3	17,5
9	0	-1	-1	20	3	5
10	0	+1	-1	20	5	17,5
11	0	-1	+1	20	1	17,5
12	0	+1	+1	60	5	30
13	0	0	0	60	3	17,5
14	0	0	0	60	1	30
15	0	0	0	60	1	5
16	0	0	0	60	5	5
17	0	0	0	100	3	30

H₂O₂ kullanılan önişlemede, kimyasal doz, mesh ve katı oranı; H₂O₂ –US kullanılan önişlemede ise ultrases dalga ve kimyasal dozu ile zaman, tasarımın faktörleri ve düşük (-1), orta (0) ve maksimum (+1) olan tüm seviyelerdir ve değerleri Tablo 7. ve Tablo 8.'de verilmiştir.

Tablo 7. H₂O₂ İçin Bağımsız Değişkenler, Kodları Ve Faktör Değerleri

STD	H ₂ O ₂ %	Mesh	Katı oranı (%)	H ₂ O ₂ %	Mesh	Katı oranı (%)
-----	---------------------------------	------	----------------	---------------------------------	------	----------------

1	1	1	1	0,55	1.00	2
2	-1	-1	0	0,10	0.20	1,25
3	0	0	0	0,55	0.60	1,25
4	1	1	0	1,00	1.00	1,25
5	0	-1	1	0,55	0.20	2
6	0	0	0	0,55	0.60	1,25
7	1	-1	0	1,00	0.20	1,25
8	0	0	0	0,55	0.60	1,25
9	0	-1	-1	0,55	0.20	0,5
10	0	0	0	0,55	0.60	1,25
11	-1	0	-1	0,10	0.60	0,5
12	-1	1	0	0,10	1.00	1,25
13	-1	0	1	0,10	0.60	2
14	1	0	1	1,00	0.60	2
15	0	1	-1	0,55	1.00	0,5
16	1	0	-1	1,00	0.60	0,5
17	0	0	0	0,55	0.60	1,25

Tablo 8. H₂O₂-Ultras ses dalga için Bağımsız Değişkenler, Kodları Ve Faktör Değerleri

STD	US Kj/kgDM	H ₂ O ₂ %	Zaman (dakika)	US Kj/kgDM	H ₂ O ₂ %	Zaman (dakika)
1	0	0	0	60,00	0.55	17,50
2	0	0	0	60,00	0.55	17,50
3	-1	0	-1	20,00	0.55	5,00
4	0	0	0	60,00	0.55	17,50
5	0	-1	-1	60,00	0.10	5,00
6	1	0	1	100,00	0.55	30,00
7	0	0	0	60,00	0.55	17,50
8	0	1	1	60,00	1.00	30,00
9	-1	1	0	20,00	1.00	17,50
10	-1	-1	0	20,00	0.10	17,50
11	-1	0	1	20,00	0.55	30,00
12	1	1	0	100,00	1.00	17,50
13	0	1	-1	60,00	1.00	5,00
14	0	-1	1	60,00	0.10	30,00
15	1	0	-1	100,00	0.55	5,00
16	0	0	0	60,00	0.55	17,50
17	1	-1	0	100,00	0.10	17,50

Toplam şeker konsantrasyonu ve indirgenmiş şeker konsantrasyonunun yanıtı için her bir işlemde kullanılan faktörler Box-Behnken deneysel yöntemiyle optimize edilmiştir. Box Behnken deneysel tasarımı için istatistiksel bir model oluşturmak için Design Expert yazılımı kullanılmıştır.

2.3 Analitik Metod

Tüm deneyde kullanılan kimyasallar, sülfirik asit (H₂SO₄, Sigma, %98), asetik asit (CH₃COOH, Merck), fenol (C₆H₆O, Merck), potasyum sodyum tartarat (KNaC₄H₄O₆·4H₂O, Merck), dinitrosalisilik asit (DNS) ((O₂N)₂C₆H₂-2-(OH)CO₂H, Merck), ve sodyum hidroksit (NaOH, Merck)'dir. Analitik spektrofotometrik ölçümler için WTW Spectroflex 6100 VIS kullanılmıştır.

Çalışmada parçalanmanın belirlenmesi için ve istatistiksel yanıtlar için toplam ve indirgenmiş şeker analizleri yapılmıştır. Toplam şeker analizi Dubois vd. yöntemine göre 488 nm'de (DuBois, vd., 1956), indirgenmiş şeker analizi ise Miller vd. yöntemine göre 575 nm'de yapılmıştır (Miller, 1959). Tüm deneyler 2 tekrarlı ve 3 paralel yapılmıştır.

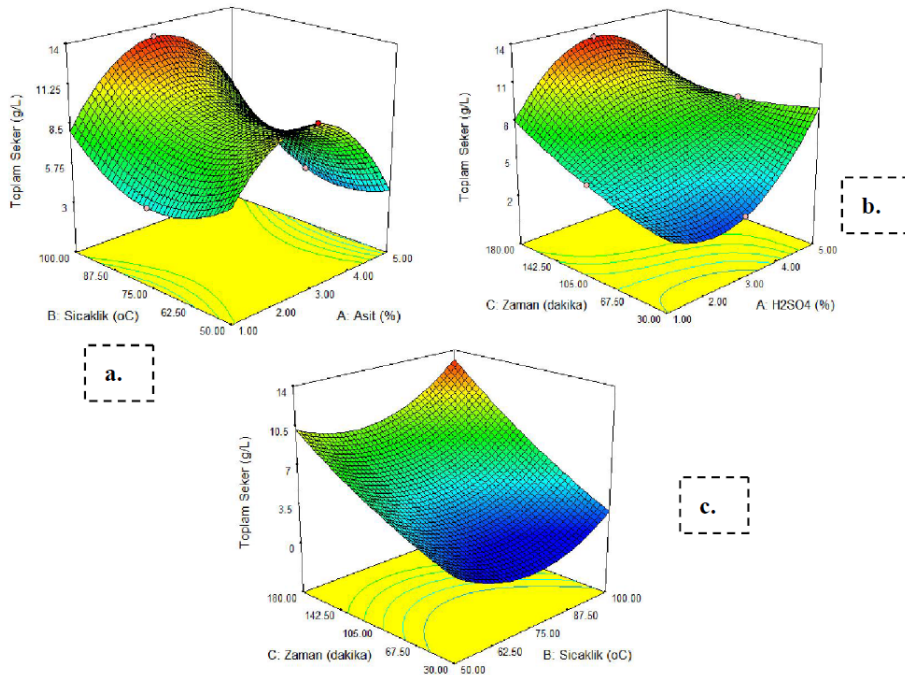
BULGULAR VE TARTIŞMA

Mısır koçanının hammadde olarak kullanıldığı önışlem parçalama denemelerinde toplam şeker konsantrasyonunun maksimum değerini bulmak için etkili faktörler kimyasal (H₂SO₄ ve H₂O₂) oranı, sıcaklık ve zamandır. Bu faktörleri optimize etmek için Box-Behnken istatistiksel deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır.

3.1 Asit önışlemi

Mısır koçanlarının kimyasal önışlem uygulanması yanıtları için istatistiki desene göre yapılan analiz (ANNOVA) sonucunda modelin R^2 değeri toplam şeker üretim denemeleri için 0,9975'dir. Şekil 2a'da sıcaklık 100°C ve H_2SO_4 oranı %3 olduğunda en yüksek toplam şeker konsantrasyonu 13,13 g/L olarak belirlenmiştir. Şekilde gösterildiği gibi toplam şeker konsantrasyonu sıcaklık düştükçe azalmakta ancak asit oranı %3'ün altında olduğunda 1,45 g/L ve %3'ün üstünde olduğunda 3,01 g/L'ya gerilemektedir. Şekil 2b, zaman ve asit oranının etkisini göstermektedir. Bu buna göre, reaksiyon süresi uzadıkça ve asit oranı yükseldikçe toplam şeker değeri artmaktadır. 180 dakika ve asit oranı en yüksek seviyede iken maksimum toplam şeker konsantrasyonu 13,13 g/L'dir. Zaman ve asit derişimi faktörü değişimi toplam şeker üretimi üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Şekil 2c verildiği üzere zamanın artışı ve sıcaklığın artışı toplam şeker içeriğini arttırmaktadır. Ancak bu desene göre sıcaklığın ve zamanın en yüksek olduğu evrede maksimum toplam şeker içeriği %3'lük asit oranında belirlenmiştir. Asit ve Ultrases dalga + Asit ön işleme denemelerindeki tüm çalışmada mısır koçanın katı konsantrasyonu %1 (w/v) olarak sabit tutulmuştur.

Literatürde yapılan incelemeler sonucunda, lignoselülozik içerik mısır sapında eğer düşük seviyede olursa, sıcaklık seviyesinin bozunma için yeterli olduğunu belirtilmektedir. Üretilen toplam şeker miktarı lignoselülozik içerikle ve kullanılan lignoselülozik yapının bağlı olduğu bitkinin tür ve yetiştirme yeri ile bağlantılıdır (Brodeur, vd., 2011). Barışık vd.(2016) tarafından yapılan çalışmada sıcaklık arttıkça asit etkisinin arttığı bildirilmiştir. Barışık vd.(2016)'nin raporunda önışlem için, Box-Behnken yöntemi ile saman örneklerine uygulanmıştır. Maleik asit için optimum işleme koşulları, 210°C , %1,08 asit konsantrasyonu ve 19,8 dakika; süksinik asit 210°C , %5 asit konsantrasyonu ve 30 dakika; oksalik asit 210°C , %3,6 asit konsantrasyonu ve 16,3 dakika olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda elde edilen etanol konsantrasyonları, sırasıyla maleik, süksinik ve oksalik asit önışlemleri için 12,9, 10,3 ve 12,9 g/L'dir. Bu sonuçlar, lignoselülozik yapının organik asitler ayrışmasının etkin olduğunu göstermektedir. Öte yandan, maleik ve oksalik asitler, süksinik aside kıyasla daha etkili olduklarını göstermektedir. Bu çalışmada mısır koçanları için H_2SO_4 önışleminde optimum sıcaklık 100°C , ultrases dalga ve asit işleminin kullanıldığı optimum belirlenmemiş olup 100°C 'ye kadar ulaşılmadığı belirtilmiştir.

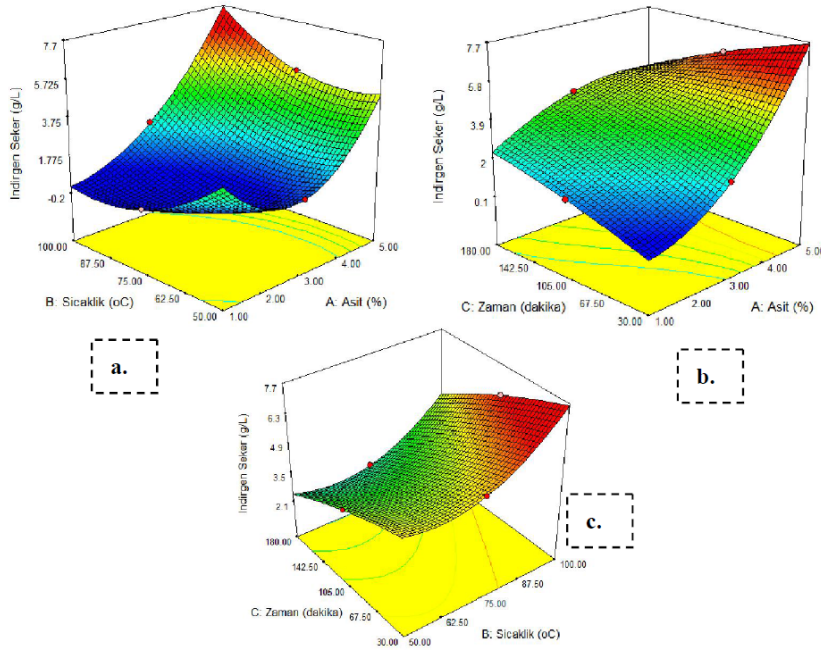


Şekil 2. Asit ile önışlem denemelerinde Toplam şeker (g/L) için RSM yanıt grafiği a) sıcaklık ($^\circ\text{C}$) ve asit oranı (%), b) zaman (dakika) ve asit oranı (%) c) zaman (dakika) ve sıcaklık ($^\circ\text{C}$) etkileşimleri

İndirgenmiş şeker üretimi için Box Behnken deneysel tasarımına göre yanıt model anlamlıdır ve modelin ANNOVA testine göre R^2 değeri 0,9974'dür. İndirgenmiş şeker konsantrasyonu, maksimum 7,7 g/L'ye kadar ulaşabilir. Maksimum indirgenmiş şeker konsantrasyonunu etkileyen bağımsız değişken değerlerine bakıldığında sıcaklık ve asit oranının artışı indirgen şeker değerini arttırmaktadır. Sıcaklığın minimum 50°C ve asidin %1 olduğu koşullarda indirgen şeker değerine bir değişim gözlenmiş ancak maksimize olamamıştır (Şekil 3a). Asit derişiminin %5, sıcaklığı $99,04^\circ\text{C}$ ve zamanın 44,26 dakikada indirgen şeker değeri 7,26 mg/L'dir.

Literatürdeki diğer çalışmaların sonuçlarına bakıldığında; kimyasal önışlem, lignoselülozlarda selülozik bileşenlerin lignin ve / veya hemiselülozları çıkararak selülozun biyolojik olarak parçalanabilirliğini arttırmak ve polimerizasyon derecesini (DP) ve kristalliğini azaltmak için en umut verici yöntemlerden biri haline gelmiştir (Agbor, vd., 2011; Mtui, 2009). Asit oranı şeker konsantrasyonu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Gütsch vd. (2012), Mavi okaliptüs ağşabının ön tedavisi sırasında katalitik aktiviteleri için üç farklı asit (asetik (0,02-0,15 M), oksalik (0,01-0,1 M) ve sülfürik asit (0,01-0,1 M) üzerinde çalışılmıştır. Gütsch vd. (2012) yaptıkları deneyde, reaktör, minimum ısıtma süresi (yaklaşık 30 dakika) içinde ön hidroliz sıcaklığına (120-200 °C) kadar ısıtılmış, sıcaklık, ön hidroliz süresi (10-120 dakika) boyunca sabit kalmıştır. (Gütsch, vd., 2012). Bu çalışmanın sonucu olarak, Mavi okaliptüs ağşabı için deney koşulunda dönüşüm oranı %95'e kadar çıkmıştır. Yu vd. (2012), adım değişimli bir akış reaktöründe (184 °C, 20 ml / dakika, 8 dakika ve 10 ml / dakika, 10 dakika) tatlı sorgum küspesi için toplam ksiloz geri kazanımının %79,6 olduğunu ve toplam partiküllü karıştırılmış reaktörde okaliptüs odun yongaları için %84,4'lük ksiloz iyileşmesi (184 °C, %5 ağ / hac, 18 dakika) olduğunu raporlamışlardır. (Yu, vd., 2012). Wang vd (2009)'nin bir başka çalışmasında, ladin yongaları 180°C'de %1,84 asit ile muamele edilmiş ardından dondurma işlemi yapılmış ve elde edilen sonuçlarda selüloz dönüşümünün %40 olduğu bildirilmiştir (Wang Gleisner, 2009). Bu tez çalışmasında, dönüşüm oranı %5 asit, 100 °C ve 180 dakika reaksiyon süresi sonunda toplam şeker için %99, indirgen şeker için %77 olarak belirlenmiştir.

Şekil 3b'den asit oranının artışı ve zamanın ilerlemesi ile indirgenmiş şeker konsantrasyonunun önemli ölçüde etkilendiği açıkça görülmektedir. Şekil 3c'den, indirgenmiş şeker konsantrasyonu için zaman ve sıcaklık faktörleri ile olan etkileşim oldukça önemlidir. Sıcaklığın orta noktasında 75 °C, %1 asit ortamı ve 180 dakika reaksiyon zamanında yaklaşık 2.93 g/L'lik indirgenmiş şeker miktarı gözlemlendi. İndirgen şeker üretim modelinin sayısal optimizasyonu 7,25 g/L'lik indirgen şeker üretimini maksimize etmek için sıcaklık, asit oranı ve zaman değerinin faktörlerinin sırasıyla 99,04 °C, %5 ve 44,26 dk olması gerektiğini göstermektedir.



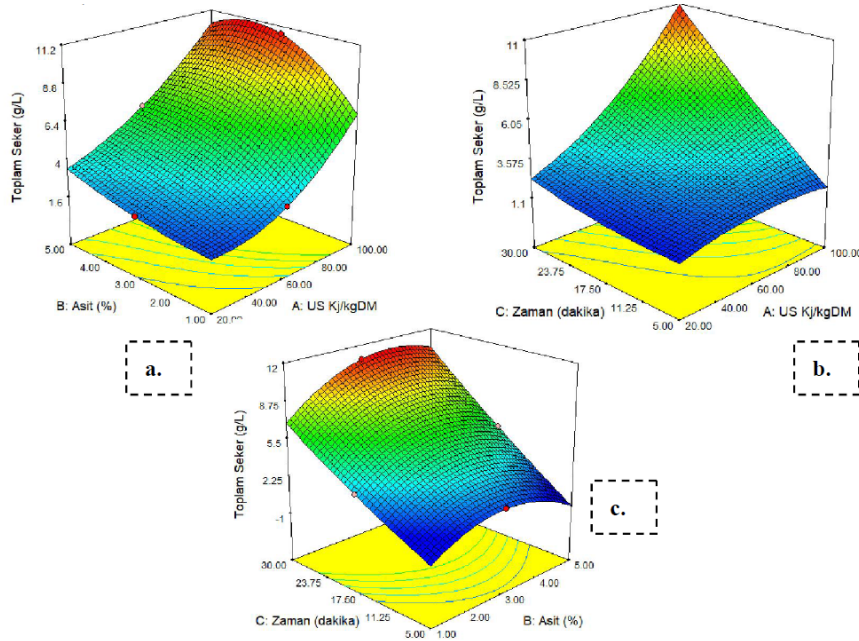
Şekil 3. Asit ile önışlem denemelerinde İndirgen şeker (g/L) için RSM yanıt grafiği a) sıcaklık (°C) ve asit oranı (%), b) zaman (dk) ve asit oranı (%) c) zaman (dk) ve sıcaklık (°C) etkileşimleri

3.2 Ultrases dalga+asit önışlemi

Mısır koçanlarına ikinci uygulanan ön işlem ultrases dalga ve asit uygulaması ile gerçekleştirilmiştir. Ultrasound ve asit uygulaması fizikokimyasal bir önışlem olarak bilinmektedir. Ultrases dalga ve sülfürik asit ile yapılan önışlem çalışmalarının optimizasyon çalışmasının sonuçları aşağıdaki grafiklerde açıklanmaktadır. Toplam şeker ve indirgen şeker konsantrasyon değerlerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. İstatistiksel deneysel tasarıma göre yanıt fonksiyonu olan matematiksel model anlamlıdır. Toplam şeker üretimi için Box Behnken istatistiksel modeli ANNOVA testi yapılmıştır ve modelin R² değeri 0,9975'dir.

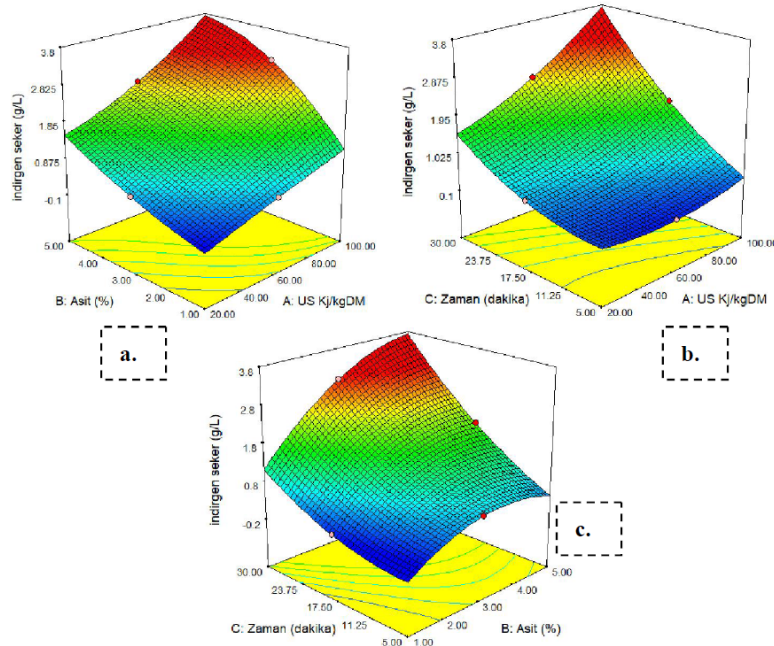
Şekil 4a, asit konsantrasyonu ve ultrason güç değişimine bağlı olarak toplam şeker konsantrasyonunu göstermektedir. Artan ultrases dalga gücünün ve asit derişimi toplam şeker derişimini arttırmaktadır. Her iki faktörün ortak etkisi göz önüne alındığında, şeker konsantrasyonunda çok daha büyük bir artış görülmektedir. En

yüksek toplam şeker konsantrasyonu 10,72 g/L idi. Bu değer 30 dakikalık bir reaksiyon süresi sonunda asit konsantrasyonunun %3 ve ultrason gücünün 100 kJ/kgDM olduğu noktada elde edilmiştir. Şekil 4b, zaman ve ultrason güç faktörlerinin etkisini gösteren bir grafikdir. Grafiğin bir önceki grafiğe benzer şekilde, ultrason gücündeki artış da toplam şeker konsantrasyonunda bir artışa neden olmuştur. Zaman faktörü incelendiğinde, reaksiyon süresinin uzamasıyla elde edilen toplam şeker konsantrasyonu da artmıştır. Her iki faktörün etkisi incelendiğinde, toplam şeker konsantrasyonu çok daha yüksek seviyelere ulaşarak 10,72 g/L olmuştur. Asit konsantrasyonunun ve reaksiyon süresinin grafiği Şekil 4c'de gösterilmektedir. Grafikte asit konsantrasyonunun ve reaksiyon süresinin beraberce pozitif etkiye sahip olduğu açıkça görülmektedir. 100 KJ/kgDM'lik bir ultrason gücünde %3 asit ve 30 dakikalık zamanda maksimum toplam şeker değeri olan 10,72 g/L'ye ulaşılabildiği belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen toplam şeker değeri sıcaklığın etkili olduğu toplam şeker değerinden düşük bir değere sahiptir.



Şekil 4. Ultrases dalga ve sülfürik asit ön işleme Toplam şeker (g/L) için RSM yanıt grafiği a) Asit (%) ve US (Kj/kgDM), b) zaman (dk) ve US (Kj/kgDM), c) zaman (dk) ve Asit (%) etkileşimleri

Optimizasyon çalışmalarında indirgen şeker konsantrasyonu yanıtlarının diyagramları Şekil 5'de verilmiştir. İstatistiki tasarıma göre elde edilen matematiksel model anlamlıdır ve toplam şeker üretimi için Box Behnken modeli ANNOVA testine göre R^2 değeri 0,9964'dür. Bu deneye etki eden faktörler asit konsantrasyonu, ultrases dalga gücü ve reaksiyon zamanıdır. Asit konsantrasyonunun ve ultrases dalga gücünün artışı ile maksimum indirgen şeker derişimi 3,15 g/L'ye ulaşılmıştır (Şekil 5a). Benzer şekilde, Şekil 5b, reaksiyon süresinin ve ultrason güç değişimi göstermiştir. İndirgen şeker konsantrasyonunun, faktörlerinin maksimum seviyelerinde en üst değere geldiği görülmektedir. Şekil 5c'de, reaksiyon süresi ve asit konsantrasyonundaki değişikliklere göre indirgenmiş şeker konsantrasyonları gösterilmektedir. %4,24 asit konsantrasyonu, 100 KJ/kgDM ultrases dalga dozu ve en uzun reaksiyon süresi olan 27,7 dakika zamanında 3.16 g/L'ye maksimum indirgen şeker değerine ulaşmıştır.

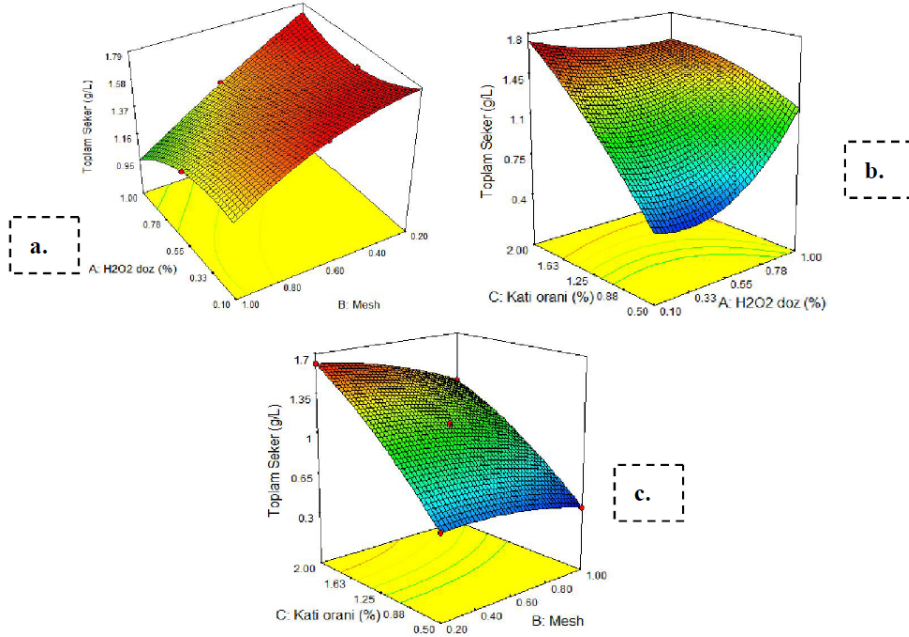


Şekil 5. Ultrases dalga ve sülfürik asit ön işlemleri indirgen şeker (g/L) için RSM yanıt grafiği a) Asit (%) ve US (Kj/kgDM), b) zaman (dk) ve US (Kj/kgDM), c) zaman (dk) ve Asit (%) etkileşimleri

3.3 Peroksit (H₂O₂) ön işlemleri

Mısır koçanlarına uygulanan diğer bir ön işlemler peroksit (H₂O₂) kimyasal ön işlemdir. Yapılan ön işleme ait optimizasyon sonuçları aşağıdaki grafiklerde açıklanmaktadır. Toplam şeker ve indirgen şeker konsantrasyon değerlerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. İstatistiki tasarıma göre, toplam şeker ve indirgen şeker yanıtları ile elde edilen matematiksel model anlamlıdır ve yapılan ANNOVA testlerine göre toplam şeker konsantrasyonu ve indirgen şeker konsantrasyonu modelleri için R² değerleri 0,9993 ve 0,9984 olarak bulunmuştur.

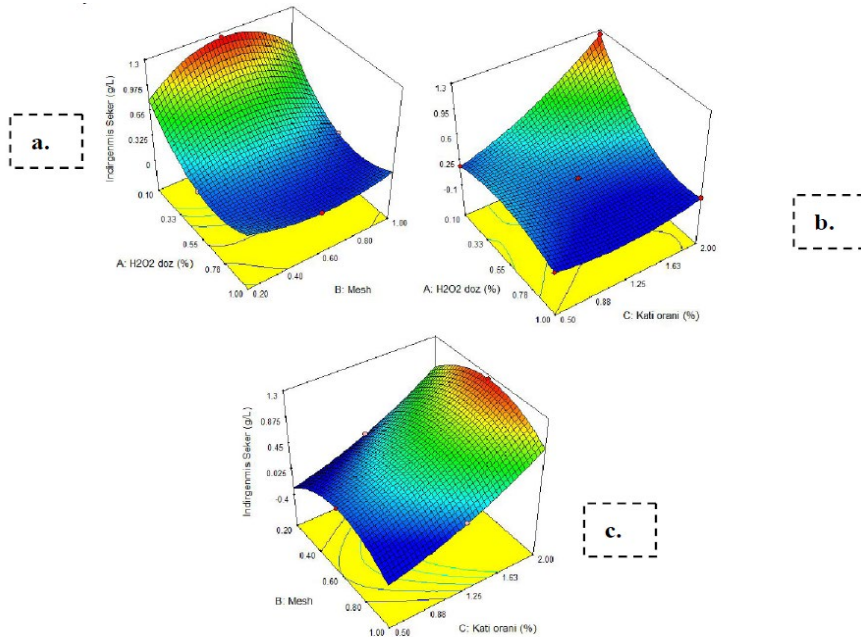
Desene göre kullanılan faktörler peroksit konsantrasyonu, katı yüzdesi ve mesh'dir. Şekil 6a'da görüldüğü üzere uygulanan peroksitin çok etkili olmadığı ancak mesh büyüklüğünün azalması yani tanecik boyutunun azalması ile toplam şeker değerinde artış gözlenmiştir. Katı oranının %1,98, peroksit konsantrasyonunun %0,15 ve mesh'in 0,38 olduğu denemede maksimum toplam şeker konsantrasyonu 1,70 g/L bulunmuştur. Şekil 6b'de minimum mesh'de (0,20) peroksit konsantrasyonu %0,55 ve katı dozu %2,0 olan koşulunda toplam şeker derişimi maksimize edilmiş olup 1,61 g/L bulunmuştur. Katı oranı ve peroksit konsantrasyonu arttıkça toplam şeker derişimi artmaktadır. Şekil 6c'de katı oranı ile mesh arasındaki ilişki incelenmiş olup, perosit dozu %0,55 de tutulduğunda meshin katı oranı kadar etkili olmadığı belirlenmiştir. Katı oranının %2 ve mesh 0,2 olduğu koşulda toplam şeker 1,61 g/L'ye kadar çıkabilmiş olup, minimum şeker derişimi de mesh büyüklüğü 1,00 ve katı oranı %0,5 olan koşulda 0,39 g/L olarak bulunmuştur



Şekil 6. Peroksit ön işlem denemeleri Toplam şeker (g/L) için RSM yanıt grafiği a) H₂O₂ (%) ve Mesh, b) H₂O₂ (%) ve Katı Oranı (%), c) Mesh ve Katı Oranı (%) etkileşimleri.

Şekil 7’de peroksit kullanılan denemelerde indirgen şeker konsantrasyonu değişimi gösterilmiştir. Şekil 7a’ya göre peroksit konsantrasyonu değişiminin herhangi bir etkisi bulunmamakta ancak mesh arttıkça indirgen şeker konsantrasyonu artmaktadır. Şekil 7b’e göre katı konsantrasyonu arttıkça ve peroksit konsantrasyonu indirgen şeker konsantrasyonu artmaktadır. Şekil 7c’ye göre ise indirgen şeker konsantrasyonu katı artışı ile artmakta ancak mesh herhangi bir etkisi bulunmamaktadır.

Katı oranının %2, peroksit konsantrasyonunun %0,10 ve mesh’in 0,60 olduğu ortamda maksimum indirgen şeker konsantrasyonu 1,24 g/L olarak bulunmuştur. Katı oranının %2, mesh 0,61 ve peroksit dozu %0,10 olduğu koşulda indirgen şeker konsantrasyonu 1,24 g/L’e maksimize edilmiş olup minimum indirgen şeker değeri derişimi 0,60 mesh, %1 peroksit ve %0,5 katı oranında 0,069 g/L olarak belirlenmiştir.



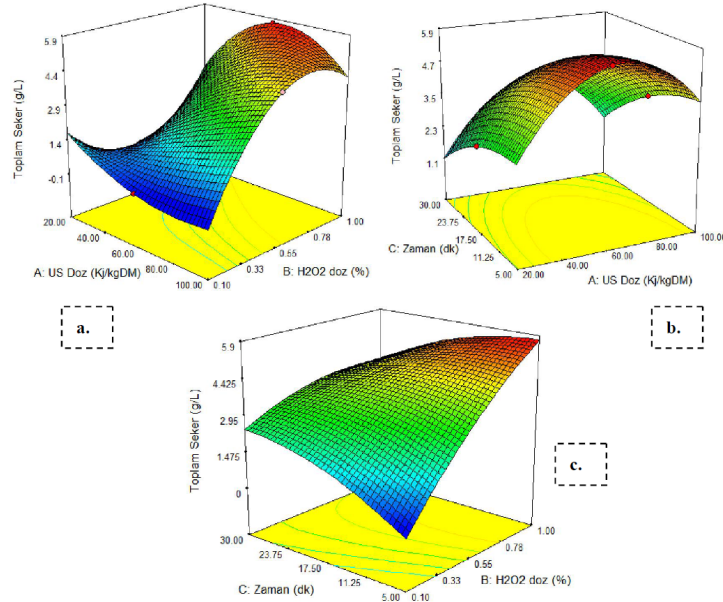
Şekil 7. İndirgenmiş şeker (g/L) için RSM yanıt grafiği a) H₂O₂ (%) ve Mesh, b) H₂O₂ (%) ve Katı Oranı (%), c) Mesh ve Katı Oranı (%) etkileşimleri

3.4 Ultrases dalga+Peroksit (H_2O_2) Önışlem

Mısır koçanlarına uygulanan diğer önışlem ise ultrases dalga ve peroksit uygulamasıdır. Ultrases dalga gücü, katı dozu ve peroksit derişiminin faktör olarak belirlendiği çalışmada toplam şeker ve indirgen şeker konsantrasyonları optimize edilerek maksimum üretim koşulları belirlenmiştir. İstatiksel tasarıma göre, toplam şeker ve indirgen şeker için elde edilen matematiksel model anlamlıdır ve ANNOVA testine göre modelin R^2 değeri toplam şeker konsantrasyonu için 0,9685 ve indirgen şeker konsantrasyonu için 0,9837'dir.

Şekil 8'de peroksit ve ultrases dalga toplam şeker konsantrasyonuna etkisinin grafikleri verilmiştir. Bu desen grafiklerine göre Şekil 8a'da görüldüğü üzere uygulanan peroksitin oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. Şekil 8b'de ise sabit peroksit konsantrasyonunda uygulanan doz 60 kJ/kgDM olduğunda toplam şeker konsantrasyonunun maksimum seviyeye ulaştığı zamanda etkisinin kısmen etkili olduğu belirlenmiştir. Şekil 8c'de görüldüğü üzere toplam şeker konsantrasyonu üzerine peroksitin dozunun etkili olduğu ve peroksit arttıkça ve zaman azaldıkça toplam şeker konsantrasyonunun arttığı ve maksimum toplam şeker konsantrasyonuna ulaştığı belirlenmiştir.

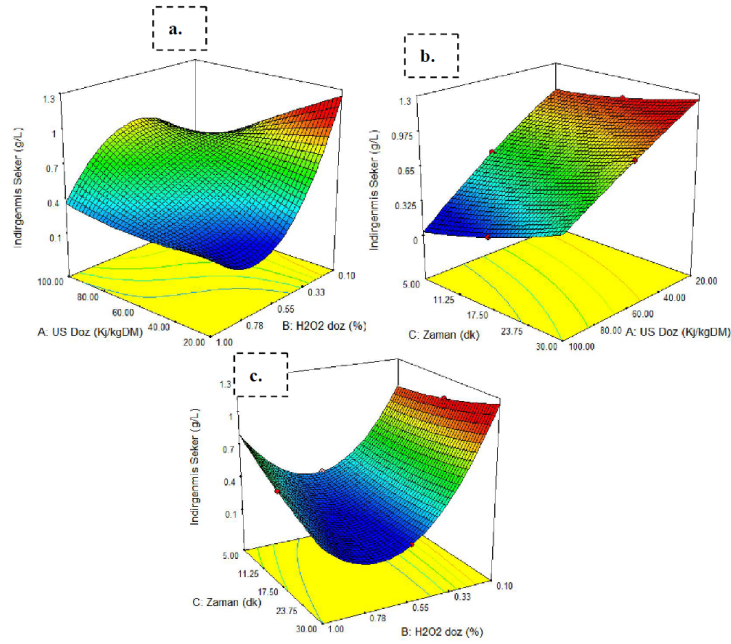
Reaksiyon zamanının 5 dakika olarak belirlendiği koşulda, peroksit konsantrasyonunu %1,00 ve ultrases dalga gücünün 60 kJ/kgDM olduğunda toplam şeker derişimi 5,70 g/L olarak belirlenmiştir. Ultrason dozunun maksimum 100 kJ/kgDM olarak belirlendiği koşulda Peroksit dozunun %0,55 ve süre 30 dakika uygulandığında toplam şeker konsantrasyonu 5,70 g/L olarak bulunmuştur.



Şekil 8. Ultrases dalga ve peroksit ön işlemini için; Toplam şeker (g/L) için RSM yanıt grafiği a) H_2O_2 (%) ve US (Kj/kgDM), b) zaman (dk) ve US (Kj/kgDM), c) zaman (dk) ve H_2O_2 (%) etkileşimleri

Şekil 9'da peroksit ve ultrases dalga indirgen şeker üzerine etkisinin belirlendiği desen grafikleri verilmiştir. Bu desen grafiklerine göre 9a'da ultrases dalga'nın minimum değerinde etkili olduğu ancak peroksit dozunun arttıkça indirgen şeker konsantrasyon değerinin arttığı belirlenmiştir. Şekil 9b'de ise zamana bağlı olarak ultrases dalga'nın etkisine bakılmıştır. Bu grafiğe göre zamanın etkisinin az olduğu ancak ultrases dalga dozu azaldıkça indirgen şeker değerinin arttığı belirlenmiştir. Şekil 9c'de ultrases dalga dozunun sabit tutulduğu ortamda zamanın herhangi bir etkisinin olmadığı ancak peroksit dozunun azaldıkça indirgen şeker değerinin arttığı belirlenmiştir. Bu durum indirgen şeker değerinde peroksitin ultrases dalga birlikte etkisinin az olduğu, indirgen şeker oluşumunun ultrases dalga etkisi ile bozulduğu belirlenmiştir.

Bu nedenle asit ve ultrases dalga uygulanan ortamlarda indirgen şeker değeri ultrases dalga peroksit uygulayan ortamlara göre daha yüksektir. H_2O_2 -US önışlemi için 1,11 g/L maksimum indirgen şeker %0,1 H_2O_2 , 20 kJ/kgDM US dozu ve 17,5 dakika koşullarında elde edilmiştir. Ultrases dalgaun peroksitle uygulandığı ortamlarda toplam şeker değeri peroksitin tek başına uygulandığı ortamda elde edilen toplam şeker değerinden oldukça yüksektir.



Şekil 9. Ultrases dalga ve peroksit ön işleme için; İndirgenmiş Şeker (G/L) İçin RSM Yanıt Grafiği A) US (Kj/Kgdm) ve H₂O₂ (%), B) Zaman (Dk) Ve US (Kj/Kgdm), C) Zaman (Dk) ve H₂O₂ (%)

Ebringerová ve Hromádková tarafından yürütülen çalışmada, ultrasonun mısır koçanı hemiselülozik ekstraksiyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, ilk aşamada H₂O₂-alkali ön işleminde doğrudan ekstraksiyon, ikinci aşamada ultrason ile H₂O₂-alkali uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sadece H₂O₂-alkali ön işlem uygulandığı denemenin sonuçlarına kıyasla, toplam karbonhidrat içeriğinin tüm ultrases dalga sonuçlarında %10-40 oranında arttığı raporlanmıştır (Ebringerová ve Hromádková, 2002). Jacquemin vd. (2012), buğday samanı ve kepeklerin hemiselülozlarını, çevresel karakterizasyonlar (su tüketimi, karbondioksit emisyonları) ile birleştirilen fraksiyonel ve teknik yönler (verim, saflık) birleştirilerek çevre dostu bir proses geliştirmeyi amaçlayarak ultrason etkisi araştırılmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, arabiyonaz şekeri içeriği ultrason uygulamaları ile %34,1 oranında arttırmıştır (Jacquemin vd., 2012). Hromádková vd. (1999) tarafından yapılan çalışmada alkali ekstraksiyon ultrason uygulaması ile desteklendiğinde, mısır koçanlarından xylan ekstraksiyonunun %21,9 ve %36,8 xylan içeriğine yükseldiğini tespit etmiştir (Hromádková vd., 1999). Zhang vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada ise lignoselülozlu biyokütlenin ultrases dalga ön işleminde önce ve sonra, hammadde yapısının ve müteakip şekerleşme hızındaki farklılıkları karşılaştırılmıştır (Zhang, vd., 2008). Çalışma sonucunda ultrases dalga titreşim enerjisinin, ham madde parçacıklarının yüzey konformasyonunu değiştirmek için çok düşük olduğunu belirtilmiştir. Ultrases dalga ön işlem, lignin bozunması ve enzimatik sakarifikasyon oranları etkili bir şekilde geliştirilmiştir.

DEĞERLENDİRME

Şeker pancarı, mısır koçanı ve şeker kamışı gibi tarımsal endüstriyel atıklar aynı zamanda lignoselülozik atık olup, ormancılık artıkları için de biyoyakıt potansiyelinin artırılması amacıyla fizikokimyasal veya kimyasal ön işleme uygulanmaktadır. Seçilen ön işleme, atık özelliklerinden dolayı çok önemlidir.

Bu çalışmada, Box Behnken'in yüzey yanıt yöntemi ile şeker oluşumunu en üst düzeye çıkarmak amacıyla mısır koçanının lignoselülozik ve selülozik yapısını parçalamak için H₂SO₄ hidrolizi ve H₂SO₄-ultrases dalgaun birlikte kullanıldığı ön işlemler uygulanmıştır. Şeker konsantrasyonunu maksimize etmek için etki eden faktörlerin optimizasyonu amaçlanmıştır. Sıcaklık, asit konsantrasyonu ve reaksiyon süresi faktörleri farklı seviyelerde uygulanmıştır. Modele göre, H₂SO₄ hidrolizi uygulanan ön işleminde 10,84 g/L'nin maksimum toplam şeker konsantrasyonu, %1,67 asit konsantrasyonu, 100° C ve 180 dakika koşullarında elde edilebilir. Maksimum indirgenmiş şeker konsantrasyonu 5,5 g/L'ye %5 asit, 48,08 dakika ve 84,14 °C sıcaklık olan koşulda ulaşabilir.

Box Behnken'in yüzey yanıt yöntemi ile şeker oluşumunun en üst düzeye çıkarmak amacıyla mısır koçanının lignoselülozik ve selülozik yapısını parçalamak için H₂O₂ alkali hidrolizi ile ultrases dalgaun birlikte kullanıldığı ön işleme uygulanmıştır. H₂SO₄- ultrases dalga hidrolizi uygulanan ön işleminde 99 Kj/kgDM US dozunda, %3,62 asit oranı ve 29,97 dakikada 10,76 g/L maksimum toplam şeker konsantrasyonuna ulaşırken, 97,18 Kj/kgDM US dozu, %3,23 asit ve 29,76 dakikada 2,97 g/L maksimum indirgenmiş şeker derişimine sahip olmaktadır.

Tablo 9. H₂SO₄ Ve H₂SO₄-US Toplam Şeker Sonuç Değerlendirmesi

Ön İşlem	Sıcaklık	Zaman (Dk)	Konsantrasyon %	Us Dozu Kj/Kgdm	Toplam Şeker (g/L)
H ₂ SO ₄ (g/L)	100°C	180 dk	%3	-	13,13
H ₂ SO ₄ -US(g/L)	Oda sıcaklığı	30 dk	%3	100 kJ/kgDM	10,72

Tablo 10. H₂O₂ Ve H₂O₂-US Toplam Şeker Sonuç Değerlendirmesi

Ön İşlem	Mesh	Katı Oranı	Zaman (Dk)	Konsantrasyon %	Us Dozu Kj/Kgdm	Toplam Şeker (g/L)
H ₂ O ₂ (g/L)	0,38	%1,98		%0,15	-	1,70 g/L
H ₂ O ₂ -US(g/L)			5 dk	%1	60 kJ/kgDM	5,70 g/L

Şeker konsantrasyonunu maksimize etmek için mesh, H₂O₂ konsantrasyonu ve reaksiyon süresinin faktörleri seçilmiştir. Deneysel tasarımdan elde edilen matematiksel modele göre, 1,74 g/L'nin maksimum toplam şeker konsantrasyonu,%0,98 perkoksit, 0,22 mesh ve %1,92 katı oranının olduğu koşullarda ulaşılırken, 1,24 g/L maksimum indirgen şeker derişimine %0,10 peroksit, 0,65 mesh ve %2 katı oranının olduğu koşulda ulaşılmıştır.

Ultrases dalgaun peroksit önışlemine etkisinin belirlendiği bu modele göre, 5,72 g/L'nin maksimum toplam şeker konsantrasyonu, 66,33 Kj/kgDM US dozunda, %1 peroksit ve 6,73 dakika olduğu koşullarda ulaşılırken, 1,21 g/L maksimum indirgen şeker derişimine 22,93 Kj/kgDM US dozunda, %0,10 peroksit ve 29,19 dakika olduğu koşulda ulaşılmıştır. Asit ve peroksit kullanılan yöntemlerle ultrases dalgaun birlikte kullanıldığı yöntemler karşılaştırıldığında asit ve peroksit kullanılan yöntemlerde yüksek zaman ve sıcaklık verilerinde yüksek toplam ve indirgen şekere ulaşılırken, ultrases dalga birlikte kullanılan önışlemlerde daha kısa zamanda yüksek verilere ulaşıldığı belirlenmiştir (Tablo 9, Tablo 10, Tablo 11 ve Tablo 12). Bu nedenle ultrases dalga uygulanan önışlemlerde kısa zamanda daha yüksek toplam ve indirgen şeker derişimine ulaşılmıştır.

Tablo 11. H₂SO₄ Ve H₂SO₄-US İndirgen Şeker Sonuç Değerlendirmesi

Ön İşlem	Sıcaklık	Zaman (Dk)	Konsantrasyon %	Us Dozu Kj/Kgdm	İndirgen Şeker (g/L)
H ₂ SO ₄ (g/L)	100°C	180	%5	-	7,7 g/L
H ₂ SO ₄ -US(g/L)	Oda sıcaklığı	27,7	%4,24	100 kJ/kgDM	3,16 g/L

Tablo 12. H₂O₂ Ve H₂O₂-US İndirgen Şeker Sonuç Değerlendirmesi

Ön İşlem	Mesh	Katı Oranı	Zaman (Dk)	Konsantrasyon %	Us Dozu Kj/Kgdm	İndirgen Şeker (g/L)
H ₂ O ₂ (g/L)	0,61	%2		%0,10	-	1,24 g/L
H ₂ O ₂ -US(g/L)			17,5	%0,1	20 kJ/kgDM	1,11 g/L

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FEB2015/42-BAGEP kodlu projesi olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Adıgüzel, A. O., (2013), Lignoselülozik materyallerden biyoetanol üretimi için kullanılan ön-muamele ve hidroliz yöntemleri. *SAU J. Sci.*, 17(3): p. 381-397.

Alvira, P., Tomás-Pejó E., Ballesteros M., Negro M.J., (2010), Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A Review. *Bioresource Technology*, 101(13): p. 4851-4861.

Badiesi, M., Asim N., Jahim J.M., Sopian K., (2014), Comparison of Chemical Pretreatment Methods for Cellulosic Biomass. *APCBEE Procedia*, 9: p. 170-174.

Balat, M., Balat, H., Öz, C., (2007), Progress in bioethanol processing, *Progress in Energy and Combustion Science*, 551-573.

- Behera, S., Arora, R., Nandhagopal N., Kumar S., (2014), Importance of chemical pretreatment for bioconversion of lignocellulosic biomass, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 36: p. 91-106.
- Behera, S., Mohanty R.C., Ray R.C. (2011), Ethanol production from mahula (*Madhuca latifolia* L.) flowers with immobilized cells of *Saccharomyces cerevisiae* in *Luffa cylindrica* L. sponge discs. *Applied Energy*, 88(1): p. 212-215.
- Bertheta M.A., Angellier-Coussya H., Machado D., Hilliou L., Staebler A., Vicente A., Gontard N., (2015), Exploring the potentialities of using lignocellulosic fibres derived from three food by-products as constituents of biocomposites for food packaging. *Industrial Crops and Products*, 69: p. 110-122.
- Borrion, A.L., McManus M.C., Hammond G.P.. (2012), Environmental life cycle assessment of bioethanol production from wheat straw. *Biomass & Bioenergy*, 47: p. 9-19.
- BP Statistical Review of World Energy What's new in renewables. *International Gas Engineering and Management*, 42(9): p. 25-25, 2002.
- Chandra, R.P., Bura, R., Mabee, W. E., Berlin, A., Pan, X., Saddler, J. N. (2007), Substrate pretreatment: The key to effective enzymatic hydrolysis of lignocellulosics. *Biofuels*, 108: p. 67-93.
- Chang, V.S., Holtzapple M.T.. (2000), Fundamental factors affecting biomass enzymatic reactivity. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 84-6: p. 5-37.
- Deniz E., Yeşilören, G., İşçi N. Ö., (2015), "Türkiye'de Gıda Endüstrisi Kaynaklı Biyokütle ve Biyoyakıt Potansiyeli". *Gıda*, 40(1): p. 47-54.
- Drapcho M.C., Nghim N.P., Walker T. (2008), *Biofuels Engineering Process Technology*. McGraw-Hill, New York.
- FAO, (2014),. Food and Agriculture Organization of the United Nations Web Page, AQUASTAT database. <http://fao.org/nr/aquastat> [Erişim: 15 Agustus 2019].
- Gizlenci, Ş., Acar M. Şahin, M. (2012) Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (Biyodize, biyoetanol, Biyokütle) Projeksiyonu. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(3): p. 337-344.
- Goldemberg, J., (2007) Ethanol for a sustainable energy future. *Science*, 315(5813): p. 808-810.
- Gouveia, L. and Oliveira. A.C., (2009) Microalgae as a raw material for biofuels production. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 36(2): p. 269-274.
- Guerrero, A.B., (2017), Ballesterosb, I., Ballesteros M., Optimal conditions of acid-catalysed steam explosion pretreatment of banana lignocellulosic biomass for fermentable sugar production". *J. Chem Technol Biotechnol*, 92: p. 2351-2359.
- Haque, M.A., Nath Barman D, Kang TH, Kim MK, Kim J, Kim H, Yun HD. (2012), Effect of Dilute Alkali on Structural Features and Enzymatic Hydrolysis of Barley Straw (*Hordeum vulgare*) at Boiling Temperature with Low Residence Time. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22(12): p. 1681-1691.
- Harmsen, P.F.H, Huijgen, W, Bermudez, L, Bakker, R., (2010), Litaratüre Review of Physical and Chemical Pretreatment Proceses for Lignocellulosic Biomass. *Biosynerg*, 10(013).
- Isroi, R.M., Syamsiah S., Niklasson C., Cahyanto M.N., Ludquist K., Taherzadeh M.J., (2011), Biological Pretreatment of Lignocelluloses with White-Rot Fungi and Its Applications: A Review. *Bioresources*, 6(4): p. 5224-5259.
- Jovana R., Jelena D., Siniša D., Stevan P., (2009), Bioethanol Production from Intermediate Products of Sugar Beet Processing with Different Types of *Saccharomyces Cerevisiae*. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 15(1): p. 13-16.
- Karunanithy, C., Muthukumarappan K., (2011a), Influence of extruder and feedstock variables on torque requirement during pretreatment of different types of biomass - A response surface analysis. *Biosystems Engineering*, 109(1): p. 37-51.
- Karunanithy, C., Muthukumarappan. K., (2011b), Optimization of alkali soaking and extrusion pretreatment of prairie cord grass for maximum sugar recovery by enzymatic hydrolysis. *Biochemical Engineering Journal*, 54(2): p. 71-82.

- Kim, J.S., Lee Y.Y., Kim T.H., (2016), A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 199: p. 42-48.
- Kuhar, S., Nair L.M., Kuhad R.C., (2008), Pretreatment of lignocellulosic material with fungi capable of higher lignin degradation and lower carbohydrate degradation improves substrate acid hydrolysis and the eventual conversion to ethanol. *Canadian Journal of Microbiology*, 54(4): p. 305-313.
- Mood S.H., Golfeshan A.H., Tabatabaei M., Jouzani G.J., HassanNajafi G., Gholami M., Ardjmand M, (2013), Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 27: p. 77-93.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M., Ladisch, M. et al., (2005), Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 96(6): p. 673-686.
- Parisi, F. (1989), Advances in lignocellulosic hydrolysis and in the utilization of the hydrolysates, *Advances in Biochemical Engineering* 38 53–87.
- Radeva G., Valchev I., Petrın S., Valcheva E., Tsekova P. (2012), Comparative Kinetic Analysis of Enzyme Hydrolysis of Steam-Exploded Wheat Straw. *Cellulose Chemistry and Technology*, 46(1-2): p. 61-67.
- Sanchez, C., (2009), Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*, 27(2): p. 185-194.
- Saritha, M., A. Arora, Lata, (2012), Biological Pretreatment of Lignocellulosic Substrates for Enhanced Delignification and Enzymatic Digestibility. *Indian Journal of Microbiology*, 52(2): p. 122-130.
- Singh R., Shukla A., Tiwari S., Srivastava M., (2014), A review on delignification of lignocellulosic biomass for enhancement of ethanol production potential. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 32: p. 713-728.
- Singh, P., Suman, A., Tiwari, P., Arya, N., Gaur, A., Shrivastava, A. K., (2008), “Biological pretreatment of sugarcane trash for its conversion to fermentable sugars”. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 24(5): p. 667-673.
- Sinha, P. Pandey A., (2009), Improved hydrogen production by lab isolate: a novel organism for waste management and source of renewable energy. *New Biotechnology*, 25: p. S273-S273.
- Sun, Y. Cheng. YJ., (2002), Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a Review. *Bioresource Technology*, 83(1): p. 1-11.
- Talebna, F., Karakashev D., Angelidaki I., (2010), Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. *Bioresource Technology*, 101(13): p. 4744-4753.
- Toprak Mahsulleri Ofisi, 2018-Hububat Sektör Raporu
- Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK), (2018), Bitkisel üretim istatistikleri raporu.
- Usal G., (2014), Buğday Tarlası Atıklarından Alkali Hidroliz İle Fenolik Maddelerin Üretimi ve Üretim Koşullarının Optimizasyonu, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı*, Tokat.
- Üçgül. İ., Akgül G., (2010), Biomass Technology. *Journal of Yekarum*, 1(1): p. 3-11.
- Wang, L., Littlewood J., Murphy R.J., (2013), Environmental sustainability of bioethanol production from wheat straw in the UK. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 28: p. 715-725.
- Wong, A., Zhang, H., Kumar A., (2016), Life cycle water footprint of hydrogenation-derived renewable diesel production from lignocellulosic biomass. *Water Research*, 102: p. 330-345.



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 11.11.2019
Kabul Tarihi :04.12.2019

Received Date : 11.11.2019
Accepted Date : 04.12.2019

TERMİK SANTRALLERİN MRV SİSTEMİ SERA GAZI EMİSYON HESABI ve EMİSYONLARIN İYİLEŞTİRİLMESİ

GREENHOUSE GAS EMISSION CALCULATION AND IMPROVEMENT OF THERMAL POWER PLANTS WITH MRV SYSTEM

Ece Ümmü DEVECİ *¹ (ORCID: 0000-0002-7551-188X)

¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ece Ümmü DEVECİ, ecedeveci@gmail.com

ÖZET

Antropojenik faaliyetler sonucu oluşan sera etkisine sahip gazlar CO₂, CH₄, N₂O ve PFC (Per florlanmış kimyasal) gibi bileşiklerdir. Sera gazlarının artmasına neden faaliyetlerin kontrolünün sağlanması amacıyla Aralık 2015’de Fransa’da Paris İklim Zirvesi düzenlenmiştir. Bu zirve ile ülkeler daha önce dünya sıcaklığının 2°C artışla sınırlı kalma hedefini değiştirmişler ve “ısı artışını 1,5°C sınırlama çabası” kararına varmışlardır. Sera gazı etkisine neden olan en önemli kaynağın fosil yakıtların tüketimi olduğuna bu zirvede karar verilmiştir. Bu amaçla 195 ülke sera gazlarını azaltmayı, kömür, petrol ve doğalgazdan uzaklaşmayı öngören dönüm noktası niteliğinde bir anlaşmayı benimsemişlerdir. Türkiye de ise Sera gazı ile ilgili mücadele 2014 yılında başlamış olup, 17/5/2014 tarihli ve 29003 sayılı Resmî Gazete ’de yayımlanan Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik kapsamında sera gazı emisyonlarının ve ilgili faaliyet verilerinin izlenmesi ve raporlanması ile ilgili yönetmelik çıkartılmıştır. 22/7/2014 tarihinde “Sera Gazı Emisyonlarının İzlemesi Ve Raporlanması Hakkındaki Tebliğ” yayınlanmıştır. Paris zirvesinde varılan anlaşmalara paralel olarak 2015’de tebliğ çeşitli revizyonlardan geçerek yürürlüğe girmiştir. Bu amaçla fosil yakıt kullanan termik santrallerin MRV sistemi ile izlendiklerinde elde edilen CO₂ emisyonlarının iyileştirilmesi için gerekli önlemleri almakla yükümlü kılınmıştır. Bu çalışmanın amacı ise Türkiye’de temsili bir termik santralin CO₂ emisyonları hesaplanmış, oluşan emisyonlara karşı çevresel çözüm öneriler sunulmuş ve bu önerilerin uygulanabilirliği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sera Gazı, MRV sistemi, Termik Santral, Emisyon hesabı

ABSTRACT

The greenhouse gases have been produced as a result of anthropogenic activities are compounds such as CO₂, CH₄, N₂O and PFC (Perfluorinated chemicals). The Paris Climate Summit was held in France in December 2015 in order to control the activities causing greenhouse gases to increase. With this summit, countries have previously changed the objective of limiting world temperature to an increase of 2 ° C and have decided to limit the temperature increase to 1.5 ° C. It was decided that the most important source of the greenhouse gas effect was the consumption of fossil fuels. For this purpose, 195 countries have adopted a milestone agreement that aims to reduce greenhouse gases and move away from coal, oil and natural gas. Studies on Turkey was started in 2014, 17.05.2014 dated and 29003 numbered Official Paper have been published "Greenhouse Regulations on the Track of Gas Emissions". Regulation on Monitoring and Reporting of Greenhouse Gas Emissions has been published. In parallel with the agreements reached at the Paris summit, the regulation entered into force through various revisions in 2015.

For this purpose, it is obliged to take the necessary measures to reduce the CO₂ emissions obtained by monitoring the MRV system of thermal power plants using fossil fuel. The purpose of this study is that CO₂ emissions from representative thermal power plant in Turkey were calculated against the resulting emissions presenting environmental solutions were determined applicability of these recommendations.

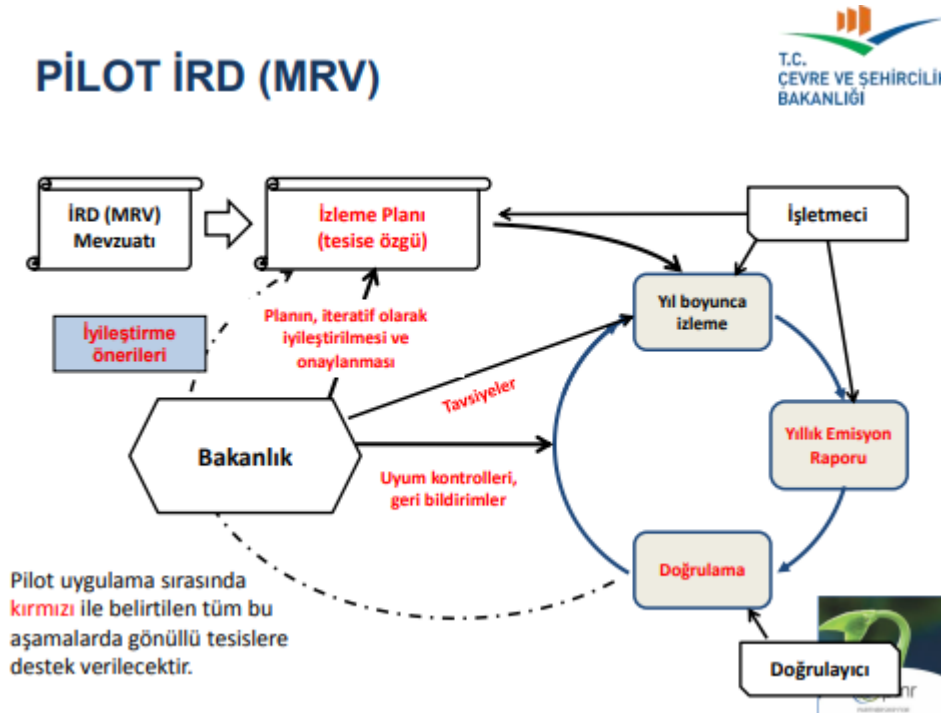
Keywords: Greenhouse Gases, MRV System, Thermal Power Plants, Emission Calculation

GİRİŞ

İnsanlar tarafından sürekli tüketilen ve tüketildikçe çevreye sürekli zarar veren yenilenmez kaynaklar olan; petrol, kömür, doğalgaz vb. gibi kaynaklar çevreye geri dönülmez zararlar vermektedirler. Bu kaynakların tüketilmesiyle atmosferde biriken sera gazları iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Bunun sonucunda doğada büyük bir tehlike ile baş başa kalırken sürdürülebilir gelişmenin olumsuz yönde etkilenmektedir. Yenilenemez enerji kaynakları bir yandan çevre kirliliğine neden olurken diğer yandan sürdürülebilirlik ters orantılı olarak etkilenecektir. Biyokütle enerjisi, jeotermal enerjisi, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidrolik enerjisi vb. gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldığında ya az miktarda atık bırakır ya da hiç atık bırakmazlar.

Artan enerji tüketimine paralel olarak sera gazları emisyon değerleri de artmakta olup emisyonların %85'i enerji sektörlerinden kaynaklandığı bilinmektedir. 1850 öncesi dünya genelinde CO₂ seviyesi 280 ppm iken 2018 itibariyle 408 ppm'dir ve bu durum endüstriyel gelişmenin CO₂ emisyonlarının artışına etkisini açık olarak göstermektedir. Dünyada fosil yakıtlardan kaynaklı CO₂ emisyonları 2005 yılından 2017 yılına kadar enerji üretim tesislerinde %24 artış, Endüstriyel ürün üretiminden kaynaklı yakıtlarda %28 artış, meskenlerde %3 artış, ulaşımdan kaynaklıda %21 artış ve madenciligi de içine alan diğer endüstrilerden kaynaklı emisyonlarda ise %40 artış belirlenmiştir. Türkiye'de ise TÜİK tarafından 13 Nisan 2018'de verilen verilere göre, 2016 yılında toplam sera gazı emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 496,1 milyon ton (Mt) olarak hesaplanmıştır. TÜİK verilerine göre, 2016 CO₂ emisyonları; %72,8 ile enerji kaynaklı, %12,6 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %11,4 ile tarımsal faaliyetler ve %3,3 ile atık olmak üzere belirlenmiştir (TÜİK, 2018). Çevre ve sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde Türkiye enerji politikasının ana hedefi, çevrenin korunması ve geliştirilmesi ile birlikte sürdürülebilir kalkınmayı belirlemişir.

Sera gazlarının emisyonlarının takibi amacıyla "Ölçülebilir, Raporlanabilir, Doğrulanabilir" (MRV) bir Sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem ile endüstriyelerden kaynaklı emisyonlar, taşıtlardan ve konutlardan kaynaklı emisyonlar takip edilebilecektir. Ancak öncelik olarak endüstriyel faaliyetler göz önüne alınmıştır. 25 Nisan 2012 yılında Sera Gazlarının Takibi Hakkında Yönetmelik yayımlanırken, 17 Mayıs 2014'de mevzuat Revizyona uğramış ve 22 Temmuz 2014 yılı itibariyle Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ yayımlanmıştır. Türkiye'de ilk olarak 5 Çimento fabrikası, 10 kamu ve 8 özel tesis olmak üzere Elektrik üretim tesisleri, 1 adet rafineri tesisi ile gönüllü pilot sektörler izlenmeye başlanmıştır.



Şekil 1. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından uygulanacak pilot MRV sistemi

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından uygulanacak pilot MRV sistemi Şekil 1’de verilmiştir. Pilot MRV sistemi içerisinde öncelikli olarak bu konuda eğitimlerin tamamlanması istenilmektedir. Bu eğitimler içinde verilerin nasıl toplanacağı, emisyonların nasıl hesaplanacağı gösterilecektir. Ayrıca kullanılacak elektronik şablonların gösterilmesi ve eğitimin verilmesi gerekmektedir. Tesisin belirli zaman aralığında uzmanların ziyaret ederek eksiklerin ve tutarsızlıkların belirlemesi, verilerin kimin tarafından ne kadar aralıklarla alınacağını, izleme planı ve emisyon raporlarının hazırlanması, emisyon raporlarının doğrulanması ve iyileştirmeler hakkında bilgilendirme yapılması istenilmektedir.

Günümüzde kömür, doğalgaz, jeotermal enerji, güneş enerjisi, petrol ürünleri, biyogaz, nükleer yakıt gibi termik kaynakları kullanan çok sayıda termik santral vardır. Termik santraller, yakıtın ve mekanik enerji üreten makinenin tipine göre dört kısma ayrılır: Buhar Türbinli Santraller, Gaz Türbinli Santraller, Dizel Santraller ve Nükleer Santrallerdir (Taşkın, 2018).

Termik santraller genel olarak çeşitli fosil yakıtların (kömür, fueloil, doğal gaz vb.) yanmasıyla ortaya çıkan ısı enerjisinden elektrik enerjisi üreten enerji merkezleri olarak adlandırılabilirler. Katı, sıvı ya da gaz haldeki fosil yakıtların kimyasal enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü enerji santrali olarak da tanımlanabilirler. Bir kazan içerisinde gerçekleşen yanma yüksek sıcaklık ve basınçta gerçekleşmektedir. Bu yüksek sıcaklıkta suyun buharlaşması sağlanmakta, düşük basınçlarda ise su buharı genişlemektedir. Bu sırada gerçekleşen genişleme ise bir enerji türbinine mekanik enerji kazandırılması için kullanılmakta ve bu sırada elektrik üretilmektedir. Bu su buharı daha sonra soğutulmakta ve yeniden kullanılmaktadır. Genel olarak kömür ile işletilen bir termik santralde yaklaşık verim %40 civarındadır. Türkiye’de kömür enerji içeriği oldukça düşük olup, genel olarak maden kömürü, linyit, fueloil, motorin, doğal gaz, LPG gibi fosil yakıtlar ve türevleri kullanılmaktadır. Termik santrallerden maden kömürü, linyit ile çalışanları hammadde kaynaklarına yakın, doğal gaz, fuel-oil gibi yakıtla çalışanları ise tüketim sahalarına yakın kurulmuşlardır (Goncaloğlu vd. 2000).

Termik santrallerde kullanılacak kaynağa göre büyüklüğü değişmektedir. Özellikle kömür kullanan tesisler diğerlerine göre oldukça büyüktür. Kömür kullanılan tesislerde öncelikli olarak kömür öğütülmekte ve 500°C’nin üzerinde ısıtılmış yanma kazanlarına gönderilir. Büyük bir termik santralin kömür tüketimi günde 3000 tonu aşar.

Sera Gazlarının Takibi ve raporlanması (MRV) ile termik santrallerden kaynaklı CO₂ emisyonları takip edilecek ve dünyaya salınan CO₂ miktarı kadar üretecekleri teknolojilerle CO₂ geri kazanım sağlayacaktır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda sadece ağaç dikme ve yetiştiriciliği şeklinde yapılsa da ilerleyen yıllarda yeni teknolojilerin geliştirilmesi gerekecektir.

Bu çalışmada, yaşam döngüsü çalışmasından yola çıkılarak 300 MW’lık bir termik santral örneği ele alınarak emisyon hesabı yapılmıştır. Elde edilen emisyon hesapları ile kaynak akışları ve tesisin kategorisi belirlenmiştir. Elde edilen tüm veriler değerlendirilerek santralde oluşan CO₂’in değerlendirilmesi için dünya çapında yapılan araştırmalar değerlendirilmiştir.

CO₂ emisyonları ise dünya genelinde 128,8 Mt’dan 2000 yılında 204,1 Mt’ya 2001 yılında ise 198,8 Mt’ya yükselmiştir. Türkiye’nin OECD ülkeleri içerisinde 2000 yılında emisyon payı %1,6’dır. Türkiye gelişmekte olan bir ülke olmasından hareketle enerji alanında sürekli kesintisiz, güvenilir, ekonomik kaynaklar ve pazarlama ihtiyacı vardır. Türkiye 1991-2002 yılları arasında enerji üretim-tüketim eğilimlerinin grafiği analiz edildiğinde sürekli enerjiyi ithal ederek kullanılmaktayız. Ülkemizde üretim-tüketim karşılaştırma oranına baktığımızda 1991 yılında % 47,68 iken bu oran 2002 yılında %31,33’e kadar düşmüştür ve 2002 yılında tüketilen enerji miktarının %69,67’lik bir kısmı yine ithal enerji kullanılarak tüketilmiştir (Selici vd. 2002).

Türkiye’nin enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu çerçevede enerji politikasında mümkün olduğu kadar yerli enerji kaynakları kullanılmasına öncelik verilmiştir. Bu prensip çerçevesinde özellikle elektrik üretiminde enerji azlığından dolayı linyitler önemli bir yer almıştır. Düşük kaliteli linyit değerlerinin ısı değeri düşük fakat kükürt değeri yüksek olmasından dolayı termik santrallerinde linyitten kaynaklı SO_x emisyonları ilgili yönetmelikte belirtilen sınır değerlerini aşmakta ve bunu en aza indirmek için (BGD) baca gazı kükürt arıtma tesisi kurulmak gerekmektedir. Bu açıdan mevcut termik santrallerde yönetmeliğe uygun olarak baca gazı kükürt arıtma (BGD)

tesisleri kurulmaktadır. 2001 yılında yenilenebilir enerji kaynakları üretim ve tüketimi 11 Mt olup birincil enerji kaynaklarının arzı da %15'i olarak gerçekleşmiştir. 2016 yılı sonu itibari ile küresel enerji kullanımı 13,147 Milyar TEP, Türkiye 126,9 milyon TEP miktarı olarak hesaplanmıştır. Türkiye, birincil üretimde yerli kaynakları kullanması durumunda en yüksek linyit %39 oranla ardından hidrolik %27, rüzgâr %8 ile takip etmektedir. 2011 yılı birincil enerji üretim bakımından hidrolik %14, rüzgâr %1, linyit %50, taş kömürü %4 oranı bulunmakta iken, 2016 yılı hidrolik %27 ve rüzgâr %8 ile büyük artış payı göstermiş olup linyit %39 ve taş kömürü %2 oranı ile kayda değer düşüş gerçekleşmiştir (Koç vd. 2018). Toplam kömür üretiminden sonra ikinci en yüksek üretime sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Biyokütle (hayvan, odun ve bitki atıkları) yenilenebilir enerji kaynaklarının 2/3'ünü oluşturmaktadır ve geriye kalan 1/3'lük kısmını da hidrolik enerji yer almaktadır (Koç vd. 2018).

Sera gazları emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir bir dünya için Türkiye olarak yeraltı kaynaklarımızdan olan toryum, uranyum, bitümlü şistler, asfaltit, ham petrol, doğal gaz, taş kömür ve linyit gibi fosil yakıt rezervleri ile biyokütle, jeotermal, hidrolik, rüzgâr, güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynak potansiyellerini kullanılmalıdır.

Uygun koşulların sağlanması halinde katı, sıvı gaz halde bulunan yakıtlar yakılarak elde edilen ısıdan mekanik enerji elde edilmekte ve elde edilen bu enerji ile elektrik üreten teknolojiler genel olarak termik santral olarak bilinmektedir. Bu şekilde elde edilen enerjinin maliyeti hidroelektrik santrallerde elde edilen enerjinin maliyetinden yüksektir.

Katı Yakıtlı (Kömür – Linyit) Termik Santrallerde, yakıt olarak kömür veya linyit kullanılmaktadır. Yakıtın yakılmasıyla elde edilen ısı suyun buharlaşmasını sağlamak ve buharın kanatları çevirmesi neticesinde jeneratörün çalışarak elektrik ürettiği santrallerdir. Akışkan yataklı Termik santraller genel olarak 1970'li yıllardan beri en çok tercih edilen teknolojiler arasındadır. Son yıllarda akışkan yataklı teknolojilerde iyileştirmelerle kullanılmaya devam etmektedir. Bu sistemin en büyük özelliği yakıt esnekliği ve düşük emisyonudur. Akışkan yataklı kazanlar akışkanlaştırma koşullarına göre kabarcıklı ve dolaşimli akışkan yataklı kazanlar olarak ayrılmaktadır (Topal vd. 2018).

Tablo 1. Türkiye'deki Termik Santraller, Yakıtları ve Kurulu Güçleri

Termik Santral	Yer	Yakıt	Güç (MW)
Zonguldak Eren (ZETES)	Zonguldak	İthal kömür	2790
Afşin – Elbistan B	Kahramanmaraş	linyit	1440
Afşin – Elbistan A	Kahramanmaraş	linyit	1335
Sugözü	Adana	İthal kömür	1320
İçdaş Bekirli	Çanakkale	İthal kömür	1200
İskenderun Atlas	Hatay	İthal kömür	1200
Soma B	Manisa	Linyit	990
Kemerköy	Muğla	linyit	630
Yatağan	Muğla	Kömür	630
Çayırhan	Ankara	Kömür	620
Seyitömer	Kütahya	linyit	600
Kangal	Sivas	linyit	457
Tufanbeyli	Adana	Linyit	450
Yeniköy	Muğla	linyit	420
İçdaş Değirmencik	Çanakkale	İthal kömür	405
Silopi	Şırnak	Asfaltit	405
Tunçbilek	Kütahya	linyit	365
Aliağa	İzmir	İthal kömür	350
18 Mart Çan	Çanakkale	İthal linyit	320
Çatalağzı	Zonguldak	Yerli kömür	300
Aksa Bolu Göynük	Bolu	Linyit	270
İskenderun Demir Çelik	Hatay	İthal kömür	220
Orhaneli	Bursa	linyit	210

Çolakoğlu	Kocaeli	İthal kömür	180
Yunus Emre	Eskişehir	Linyit	145 (290)
Kardemir	Karabük	Kömür	78
Polat	Kütahya	Linyit	51
Soma A	Manisa	Kömür	44
Eti Soda Kojenerasyon	Ankara	Linyit	24
Kağıt	Kahramanmaraş	İthal kömür	16
Susurluk şeker fabrikası	Balıkesir	Linyit	9,6
Amasya Şeker Fabrikası	Amasya	Linyit	7,76
Kıpaş Kağıt Fabrikası	Kahramanmaraş	İthal kömür	7,6 (25)
Aynes Gıda	Denizli	Linyit	5,5
Küçükler Tekstil	Denizli	Linyit	5
Kütahya Şeker Fabrikası	Kütahya	Linyit	4,57(7,13)
Çankırı Tuz Fabrikası	Çankırı	Linyit	1,64
Göknur Gıda	Niğde	Kömür	1,55

Tablo 1’de Türkiye’de aktif olan termik santraller verilmiştir. Parantez içerisindeki değerler ise mevcut tesisin yapım aşamasında olan kısmının tamamlanmasından sonra ulaşacağı güçtür. Türkiye’de aktif olan santral sayısı 38’dir. Kurulu güç 17,538 MWe, yıllık elektrik üretimi yaklaşık 90,3 GWh’dır. Yapım aşamasında olan kömür ve linyit yataklı santral sayısı 9, üretim lisansı alan kömür ve linyit yataklı santral sayısı 7, ön lisans alan kömür ve linyit yataklı santral sayısı 7, kurulması planlanan kömür ve linyit yataklı santral sayısı ise 7 adettir.(Karaatlas, 2017). Yapım aşamasında olan santrallerin başında 1320 MW güce sahip Çanakkale’deki Cenal Karabiga Termik santrali ve Bartın’da bulunan 1100 MW güce sahip Amasra Termik Santrali gelmektedir. Kurulması planlanan santrallerin başında 1220 MW güçle Zorlu Enerji Kumpınar Termik Santrali ve 800 MW güçle Bandırma 3 İthal Kömür Santrali gelmektedir.

Ülkemizde elektrik üretiminde en büyük pay doğalgaza aittir. Bunu takiben HES’ler taş kömür, linyit, ithal kömür, rüzgâr, motorin ve fuel-oil gibi sıvı yakıtlar ve ayrıca jeotermal, güneş enerjisi ve biyogazdan da elektrik üretimi yapılmaktadır. Aşağıda elektrik üretimi ile ilgili olarak kaynaklarına göre günlük elektrik üretimi Tablo 2’de ve son bir yıllık elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 2. Kaynaklara Göre Günlük Elektrik Üretimi. (Enerji Atlası, 2018).

Kaynak	Üretim	Üretim yüzdesi
Doğalgaz	260 558 180	%34,6
HES	180 124 280	%23,92
Taş kömür ve linyit	121 293 230	%16,11
İthal kömür	118 493 250	%15,74
Rüzgâr	39 087 600	%5,19
Fuel-oil	13 330 330	%1,77
Jeotermal	13 278 970	%1,76
Biyogaz	6 802 920	%0,90
Güneş (2017)	74 000	%0,29

Tablo 3. Son Bir Yıllık Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı . (Enerji Atlası, 2018)

Kaynak	Üretim	Üretim yüzdesi
Doğalgaz	92 481 857	%33.16
HES	65 279 160	%23,40
Taş kömür ve linyit	43 680 722	%15.66
İthal kömür	49 312 946	%17.68
Rüzgâr	16 186 056	%5,8
Jeotermal	4 456 120	%1,60
Biyogaz	2 139 772	%0,77

İthalat	3 716 344	%1,33
Diğer Termik	1 682 442	%0,60

YÖNTEM

Hedef

Çalışmada uygulanan aşamalar aşağıda verilmiştir..

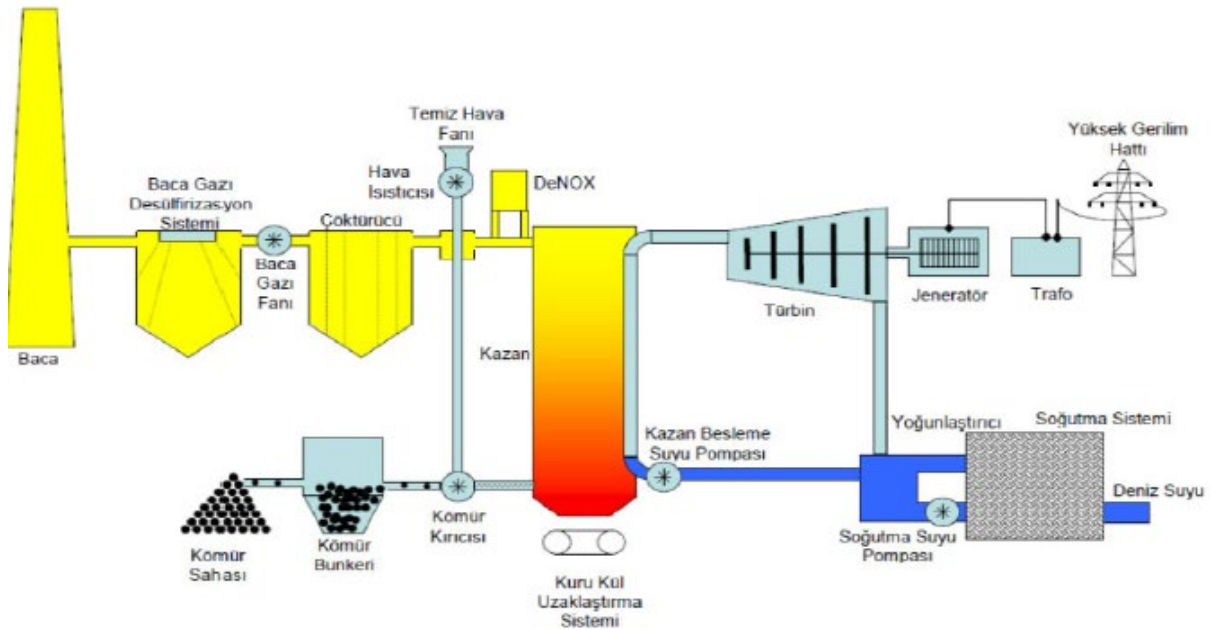
- Termik santral teknolojilerinin ve termik santral çeşitlerinin incelenmesi.
- Kömür ısıl değerlerine göre emisyon hesabının yapılması ve karşılaştırılması.
- Kullanılacak sistem incelenmiştir.
- Emisyon hesapları yapılmış ve emisyonları azaltmak için kullanılabilecek yöntemler incelenmiştir.

Bu hedefe ek olarak, yakıt türlerinden kömür (linyit) seçilmiş olup, kömürün ısıl değerlerine bağlı olarak CO₂ emisyonu hesaplanmış ve çevreye verilen zararı azaltacak yöntemler hedeflenmiştir.

Kapsam

1. Fonksiyonel Birim

Bu çalışmada fonksiyonel birim olarak 300 MWh'lık (2*150 MWh) termik santrali seçilmiş ve yerli linyit yakıtlı termik santralin çevresel etkileri ve bu etkilerin en aza indirilmesi için çalışmalar yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Kömür ile çalışan termik santral

2. Sistem Sınırları

Sistem sınırları, santral sahası, santrale yakıt sağlayan kömür ve kireçtaşı maden sahası, santralden kaynaklanan katı atık depolama alanı ve enerji iletim hatlarıdır.

3. MRV Sistemi

İklim değişikliği anlaşıldığından bu yana işletmelerin izlenmesi ve raporlanması amacıyla kullanılan sistemdir. İklim değişikliğiyle savaşmak için işletmelerin bilgiye ihtiyacı vardır. Sistem Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ve KYOTO protokolünde derlenerek oluşturulmuştur. Bali eylem planında MRV terimi kullanılmıştır. 2010 yılında tanımlanmış ve Varşova'da 2013 yılında ayrıntılarıyla sunulmuştur. İşletmeler her 4 yılda daha ayrıntılı raporlarını 2 yılda bir genel raporlarını sunmayı kabul etmişlerdir. Bu raporlar iklim değişikliği hakkında net bilgilere ulaşmamıza yardımcı olmaktadır. MRV ülkelerin emisyon salınımını nasıl azaltabiliriz önlemleri veri toplayarak bilgilerin saklanması, uluslararası incelemeye hazır halde veri bulunması

kullanılan terimdir. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) MRV doğruluğunu onaylıyor ve işletmelerin kendi aralarında güvenini sağlıyor. İşletmeler sera gazını azaltmak için elle tutulur işlemler, katkıda gelişmiş ülkelerin gelişmekte olan ülkelere destek sağlamasıdır. İşletmeler MRV sistemini kullanarak 2015 ilk çeyreğinde doğru bir şekilde uluslararası topluma sunulması amaçlanmıştır. Küresel ısınmayı 2°C'nın altına düşürmek için izleme yapmak MRV bireysel katkıların emisyon azaltımını ölçmek için bir çerçeve sağlıyor emisyonu azaltımında yol gösterici oluyor. Farklı ülkelere, işletmelerin sera gazı emisyonları izlenerek birleştiriliyor ve küresel ölçekte izlenmiş oluyor ve sınır geçilmemeye çalışıyor. 2015 anlaşma kapsamında gelecekteki MRV mimarisinin unsurları yaklaşmakta olan müzakerelerde tanımlanacaktır. Tarafların, farklı ulusal yaklaşımları tartışabilecekleri birbirlerine zorluklar, fırsatlar, güçlü yönler ve iyi uygulamalar hakkında bilgi verebilecekleri bir foruma ihtiyaçları vardır. Böyle bir forum sağlayarak, azaltma ve azaltmayla mücadele uluslararası ortaklığı, kurumsal düzenlemeler, yasal çerçeveler, veri toplama, raporlama ve muhasebe işlemlerine, katkıların geliştirilmesine, önceden açıklanması gibi MRV'ye özgü konularda kapasite oluşturma ve eşler arası karşılıklı paylaşım yoluyla katkıda bulunmayı amaçlamaktadır (Sera Gazı Emisyon Raporlarının Doğrulanması Ve Doğrulayıcı Kuruluşların Yetkilendirilmesi Tebliği, 2015).

4. Termik Santrallerde İzleme Planının Hazırlanması

Ek listede yer alan ve içerisinde termik santrallerinde olduğu işletmelerin sera gazı emisyonlarını izlemek ve doğrulamak için gerekli belgelerin hazırlanmasına *izleme planı* denir. Bu izleme planının elektronik ortamda hazırlanması ve bakanlığa sunulan şablona uygun olmalıdır.

5. Doğrulayıcı kuruluş

Doğrulayıcı kuruluş, elektronik sistem üzerinden emisyon raporuna ulaşır ve bu rapor ile ilgili olarak gerekli incelemeleri yapar. İnceleme sırasında tesis gerekli olan belgeleri doğrulayıcı kuruluşa sunmakla yükümlüdür. İnceleme tamamlandıktan sonra doğrulama raporu hazırlanarak sitem üzerinden onaylı olarak işletmeye verilir. Doğrulama raporunu alan tesis Çevre ve Şehircilik Bakanlığının belirlediği süre içerisinde yıllık emisyon raporunu sistemden bakanlığa gönderir.

6. Raporlamanın İzleme Planı ile Uyumu

Tesis tarafından yapılan raporlamada tesis tarafından yürütülen tüm faaliyetler, bu faaliyetlere bağlı oluşan sera gazı emisyonlarının kaynak akışı ve emisyon noktaları eksiksiz olarak verilmelidir. Emisyonun olduğu her bir faaliyet için toplam kapasite ve raporlanacak olan sera gazları, izleme planında belirtildiği şekilde olmalıdır. Tesis için belirlenen izleme yöntemleri bakanlıkça onaylanan izleme planı ile uyumlu olmalıdır. Bu nedenle izleme planlarının Yönetmelik ve İ&R Tebliği ile uyumlu ve raporlama dönemi boyunca doğru şekilde uygulanması gerekmektedir.

BULGULAR

1. Hesaplamalar

Bu çalışmada Türkiye'de bulunan termik santraller baz alınmış olup ancak herhangi bir termik santral işaret etmemektedir. Türkiye de bulunan Elektrik A.Ş. ye ait hayali bir termik santralde birincil yakıt olarak kömür kullanılarak, yıllık 6500 saat çalışma süresince elektrik üretilmektedir. Tesiste aynı zamanda baca gazı yıkamada gerçekleştirilmektedir. Tesis, 2 adet kazan 2 adet buhar türbini ve 8 adet jeneratörden oluşmaktadır.

Kömür kazanı (2 adet)

- Toplam Termal Anma Isıl gücü: 300MWth
- Hesabı:
 - Kullanılan yakıt türü: Kömür (yıllık toplam 591 500 ton linyit tüketilmektedir)
 - Buhar türbini (2 adet)
 - Toplam termal anma ısı gücü: 150 x 2
 - Kullanılan yakıt türü: Kömür (yıllık toplam 591 500 ton linyit tüketilmektedir)

- Jeneratörler (8 adet)
- Toplam termal anma ısıl gücü: 1 MW (her bir jeneratör için)
- Kullanılan yakıt türü: Motorin (toplam 50,4 ton tüketilmektedir.)
- Ulaşım:
 - Tesiste kullanılan damperli kamyon
 - Kullanılan yakıt türü: Motorin
 - Yıllık toplam 275 ton tüketilmektedir.
- Baca gazı temizleme:
 - Yıllık 22 700 ton kireç kullanılmaktadır.

Faaliyetler		
F1	Yakıtların Yanması	
Emisyon Kaynakları		
K1	Kömür Kazanı	
K2	Jeneratörler (2 adet)	
K3	Baca	
Emisyon Noktaları		
EN1	Baca	
Kaynak Akışları		
Kaynak Akışları	Faaliyet Verisi	
KA1	Linyit	591,5 ton
KA2	Motorin	50,4 ton
KA3	Kireç	227,5 ton

Yakıtların yanmasından kaynaklanan yıllık tahmini emisyonlarının hesaplanması

Yıllık emisyon miktarı = $FV \times EF \times NKD \times YF$ Denklemler 1;

Yakıtların yanmasından kaynaklanan yıllık emisyonların hesaplanmasına ilişkin verilen Denklem 1’de kullanılan hesaplama faktörleri; emisyon faktörü, net kalorilik değer ve yükseltgenme faktörüdür. Tahmini emisyonlarının ihtiyatlı bir hesaba dayandırılması için yükseltgenme faktörü 1 alınır.

Yıllık emisyon miktarı = $[tCO_2]$

FV= Faaliyet verisi $\{T_j, t \text{ yada } Nm^3\}$

NKD= Net Kalorifik Değer $[T_j/Gg]$

EF= Emisyon Faktörü $[tCO_2/T_j, tCO_2/t \text{ yada } tCO_2/Nm^3]$

YF= Yükseltgenme Faktörü

DF= Dönüşüm Faktörü

Her bir faaliyet için kullanılan standart emisyon faktörleri ve net kalorilik değerler, İ&R tebliğinin Ek-%’inden, IPCC kılavuz dokümanından ya da sunulabilecek ek bir kaynaktan alınabilir. Ancak kaynağın güvenilirliğinin değerlendirilmesi Bakanlıkça yapılır. Ancak yıllık tahmin emisyonların belirlenmesine ilişkin kullanılacak olan diğer hesaplama faktörleri için kullanılacak değerler İ&R Tebliğinin Madde 29’u uyarınca tanımlanmıştır. Sera gazlarının emisyonlarının ihtiyatlı bir tahminine dayanması için yükseltgenme ve dönüşüm faktörlerinin 1 alınması gerekmektedir.

Bu verilere göre emisyon hesapları;

-Kaynak Akışı 1 (Linyit) = $FV \times EF \times YF \times DF \times NKD = 591,500 \times 11,9 \times 101 \times 1 \times 1 = 710\,923 \text{ ton } CO_2/\text{yıl}$

-Kaynak Akışı 2 (Motorin) = $50,4 * 43 * 74,1 * 1 * 1 = 160,59$ Ton CO₂/yıl

-Kaynak Akışı 3 (Kireç) = (Kireç için NKD YF ve DF değerleri bulunmamaktadır)

Toplam Yıllık CO₂ Emisyonu = 710 923 + 160,59 + 100,1 = 971 613 ton CO₂/yıl

Tablo 4. Tesisin Toplam Sera Gazı Emisyon Hesabı

Kaynak Akışları		Faaliyet Verisi (ton)	NKD	EF	YF	DF	Emisyon (tonCO ₂ /yıl)
KA1	Linyit	591,500	11,9	101	1	1	710 923
KA2	Motorin	50,400	43	74,1	1	1	160,59
KA3	Kireç	227,500		0,44			100,1
Toplam Tahmini Sera Gazı Emisyonu					971,613 ton/yıl		

Uygulaması gereken kademeyi tanımlayabilmek için işletme, yıllık tahmini toplam sera gazı emisyonlarına göre tesis sınıflandırmasını belirtildiği şekilde yapmalıdır. Yapılan hesaplamalar Tablo 4’de verilmiştir. Kategorilerin belirlenmesi sırasında biyokütleden kaynaklı CO₂’ler hesaplamalara dahil edilmeyerek doğrulama döneminde verilen CO₂ emisyon miktarına göre Kategori A, Kategori B ve Kategori C olarak sınıflandırılmaktadır. Belirlenen termik santralin tesis kategorisi yapılan hesaplamalar ile Kategori C olduğu belirlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Tesisin Bulunduğu Kategori

Tesisin Kategorisi	C Kategorisi (>500,000 ton CO ₂)
--------------------	--

Kaynak akışları, hesaplama temelli yöntemlerle sınıflandırılır. Sınıflandırma yapılırken her bir akıştan kaynaklı emisyonun toplam emisyon içindeki payı oldukça önemlidir. Ölçüm temelli yöntemle izlenen sera gazı emisyonları için kademeler kaynak akışı kategorisi Sera gazları Emisyonları takibi yönetmeliğinde Küçük Kaynak Akışı (5.000 ton fosil CO₂den daha), Önemsiz Kaynak Akışı (1.000 ton fosil CO₂den daha düşük) ve Büyük Kaynak akışı şeklinde sıralanmıştır. Bu kaynak akışlarına göre emisyonlar sınıflandırılır (Tablo 6).

Tablo 6. Kaynak Akış Kategorileri

Kaynak Akışları	Emisyonlar (ton CO ₂)	Kaynak Akış Kategorisi	
KA1	Linyit	710 923	Büyük Kaynak Akışı
KA2	Motorin	160,59	Önemsiz
KA3	Kireç	100,1	Önemsiz

Kademe belirlenmesinin önemli olma sebebi ise; emisyon raporundaki yıllık emisyonlar faaliyet verisi ve hesaplama faktörleri kullanılarak hesaplanacağından önem arz etmektedir. Kademe en düşüğe en yükseğe: 1, 2a, 2b, 3 ve 4 şeklinde sıralanmaktadır. 2a ve 2b eşdeğer kademelerdir. Yani 2a kademesinin bir üst kademesi 3 tür. En düşük kademe her zaman 1’ dir. Kademe belirlemedeki en önemli kural “aksi belirtilmediği sürece en yüksek kademeyi uygulamaktır.”

Her bir Kaynak Akışı İçin Kademelerin seçimi

Tablo 7’de Linyit İçin Kademe Seçimi, Tablo 8’da motorin İçin Kademe Seçimi ve Tablo 9’da kireç için kademe seçimi ayrıntılı olarak verilmiş olup, hesaplamalar Tablo içerisinde yapılmıştır.

Tablo 7. Linyit İçin Kademe Seçimi

Faaliyet Verisi (kademe 3 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Kademe 4
Belirsizlik	± % 7,5	± % 5	± % 2,5	± % 1,5
Emisyon Faktörü(kademe 3 seçildi)				
Kademenin	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	
	--	--	Analiz	

Tanımı			
Analiz sıklığı	20,000 ton (yılda en az bir defa)	--	---
Net Kalorifik Değer (kademe 3 seçildi)			
	Kademe 1	Kademe 2a/2b	Kademe 3
Kademenin Tanımı	--	--	Analiz
Analiz sıklığı	20,000 ton (en az yılda bir defa)	--	--
Yükseltgenme Faktörü (kademe 3 seçildi)			
	Kademe 1	Kademe 2a/2b	Kademe 3
Kademenin Tanımı			Analiz
Analiz Sıklığı	20,000 ton (yılda en az bir defa)		

Tablo 8. Motorin İçin Kademe Seçimi

Faaliyet Verisi (kademe 2 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Kademe 4
Belirsizlik	± % 7,5	± % 5	± % 2,5	± % 1,5
Emisyon Faktörü (kademe 2 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	
Kademenin Tanımı	--	Analiz	--	
Analiz sıklığı	--	--	--	
Net Kalorifik Değer (kademe 2 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2a/2b	Kademe 3	
Kademenin Tanımı		Analiz		
Analiz sıklığı				
Yükseltgenme Faktörü (kademe 1 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2a/2b	Kademe 3	
Kademenin Tanımı	Analiz			
Analiz Sıklığı				

Tablo 9. Kireç İçin Kademe Seçimi

Faaliyet Verisi (kademe 1 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Kademe 4
Belirsizlik	± % 7,5	± % 5	± % 2,5	± % 1,5
Emisyon Faktörü (kademe 2 seçildi)				
	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	
Kademenin Tanımı	Standart Değer			
Analiz sıklığı				

Yanma Emisyonlarının Hesaplama Faktörleri İçin Kademelerin Tanımı

İşletmeler yönetmeliğinin Ek-1' inde listelenen faaliyetler altında gerçekleşen her tip yanma işleminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını, bu bölümde yer alan kademeleri kullanarak izlenir. Yakıtların proses girdisi olarak kullandığı durumlarda, yanma emisyonları kuralları ile aynı kurallar geçerlidir. Kademe 1, 2a, 2b, 3 yazılacak kademe 2a'nın tercih edildiği belirtilecek. Kirecin faaliyet verisinde belirsizliğin belirlenmesi +%7,5 olarak kademe 1 den belirlenmiştir. Kirecin emisyon faktörü kademe 1 den standart değerden seçilmiştir. Kirecin NKD'si ve yükseltgenme faktörü bulunmamaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Termik santralden kaynaklı CO₂ emisyonlarının atmosfere verilmemesi için bu zamana kadar geliştirilen sistemler sonuç ve öneriler kısmında değerlendirilecektir. MRV sisteminin amacı; CO₂ emisyonlarının takibi ve raporlanması nedeniyle bir sonraki alınacak önlemler endüstriyel kaynaklı CO₂ emisyonlarının yeniden kullanıldığı sistemlerin zorunlu tutulması olacaktır. Bu çalışma ile endüstrilerden kaynaklı CO₂ emisyonlarının nasıl yeni bir teknoloji ile tutulabileceği ve depolanabileceği çalışılmıştır. Konuyla ilgili birkaç çalışma referans edilerek verilmiş olup konuyla ilgili bilimsel çalışmalar hızla devam etmektedir. 300 MW'lık bir termik santralden yaklaşık olarak hesap ile 971 613 ton CO₂ /yıl olarak belirlenmiştir.

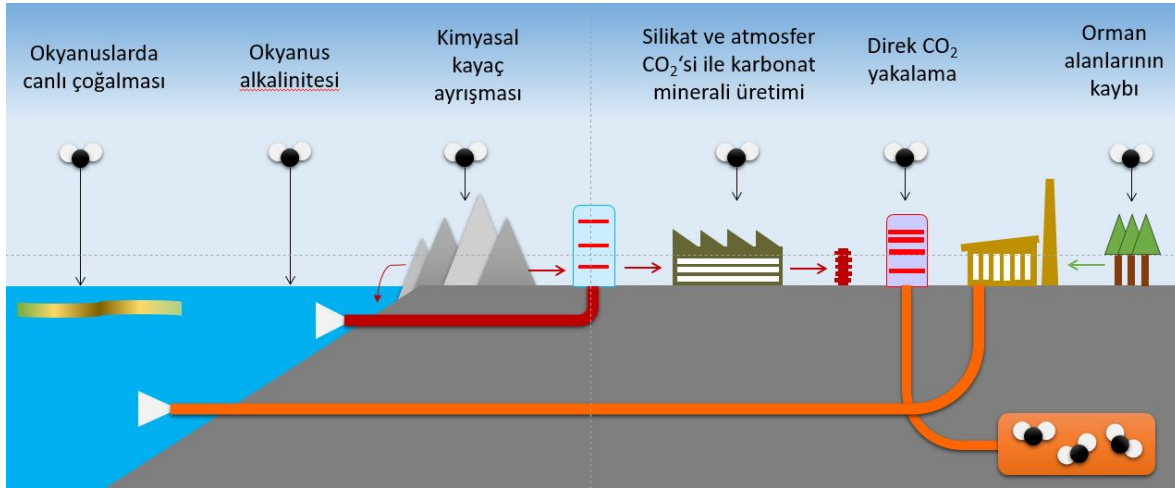
Karbondioksit Tutum ve Depolaması (KTD)

Karbondioksit tutumu: Enerji üretimi sonucu oluşan karbondioksiti olan fabrika ve santral bacalarından ayrıştırılması işlemidir. Bu sayede iklim değişikliğinde başrol oynayan karbondioksit baca gazlarından ayrıştırılarak atmosfere salınması engellenir. Bu işlem sonrasında baca gazlarından ayrıştırılarak tutulan karbondioksitin, uygun jeolojik koşulların bulunduğu bölgeye taşınması ve buradan yeraltına verilmesi gerekir (IPCC, 2005).

Tablo 10. Dünya Geneli CO₂ Kaynakları veya Endüstriyel Profili (IPCC, 2005)

İşlem	Kaynak Sayısı	Emisyonlar (tCO ₂)
<i>Fosil Yakıtlar</i>		
Elektrik	4942	10 539
Çimento üretimi	1175	932
Rafineriler	638	798
Çelik-Demir Sektörü	269	646
Petrol ve Gaz Üretimi	---	50
Diğer Kaynaklar	90	33
<i>Biyokütle</i>		
Biyoetanol ve biyoenerji	303	91
Toplam	7887	13 466

Tablo 10'de dünya genelinde CO₂ kaynakları veya endüstriyel kullanım profili verilmiştir. Bu tabloya göre en yüksek emisyon elektrik üretim endüstrisinden kaynaklanmaktadır. Endüstrilerden kaynaklı emisyonların tutulması için geliştirilen karbondioksit tutma ve depolanması; karbondioksitin tutularak depo bölgesine götürülmesi atmosferden uzak tutma işlemidir. Başka azaltma teknikleri düşük karbon içerikli yakıtlar nükleer enerji yenilenebilir enerji gibi seçenekleri içerir. KTD yöntemi maliyetin azaltılması sera gazını atmosfere bırakmada esneklik sağlar. Teknolojiler, CO₂ tutma emisyonun en çok çıktığı yere uygulanabilir. Tutulan CO₂ hacmi azaltılarak jeolojik işlemlerde okyanuslarda minerallerde ya da endüstriyel işlemlerde kullanılmak üzere taşınır. Depolama yöntemleri jeolojik depolama derin deniz deşarjı karbondioksitin inorganik karbonatlar içerisinde hapsedilmesidir.



Şekil 3. Karbondioksit Yakalama ve Depolama Şekillerinin Gösterimi

Şekil 3'de karbondioksit yakalama ve depolama şekillerinin gösterimi verilmiş olup, bu zamana kadar geliştirilen teknolojiler karbondioksiti %85-95 tutar. KTD sistemi bulunmayan işletmelerin enerji tüketimi %10-40 oranında daha fazladır. KTD kullanan tesisle kullanılmayan tesis karşılaştırıldığında KTD kullanan tesis %80-90 emisyonun azalmasına neden olur. 300 mW'lık bir termik santralden kaynaklı emisyonların bu sistem ile %85 tutulduğu düşünülürse bu tesisin yıllık tuttuğu CO₂ emisyonları miktarı $971\ 613\ \text{ton} \cdot 0,85 = 825\ 871\ \text{ton CO}_2/\text{yıl}$ 'dır.

Günümüzde birden çok emisyon tutma sistemi vardır. Santrallerdeki yakma ünitesinden sonra oluşan emisyonu tutmak için geliştirilen kireç uygulaması hem kükürdün tutulması hem CO₂ emisyonlarının tutulması açısından önemlidir. Ayrıca baca gazının su buharından geçirilmesi ile oluşturulan sistemler özel koşullar altında ekonomik açıdan uygundur. Ekonomik uygulamalar arasında öncelikli olarak ağaç dikme gösterilirken yoğun CO₂ çıkışı olan tesislerde özel olarak yapılmış reaktörlerde alg yetiştiriciliği de dikkat çekmektedir. Algler karbon kaynağı olarak CO₂ kullandıklarından CO₂ emisyonlarının tutulmasında ayrı bir öneme sahiptir. Yağ içeriği yüksek algler yetiştirildiğinde biyo yakıt üretimi ve besin katkı maddelerinin geliştirilmesinde kullanılabilir. Endüstriyel CO₂ tutulması için en uygun sistemler kapalı fotobiyoreaktörlerdir ve bu sistemler kontrolü kolay ancak oldukça pahalı sistemlerdir (Elener ve Öner, 2019). 300 MW'lık bir termik santralden kaynaklı emisyonların tutulmasında bu istemin kullanılması oldukça verimli olup hem endüstriyel üretim yapılması hem de doğaya dost bir tesis olması açısından oldukça önemlidir.

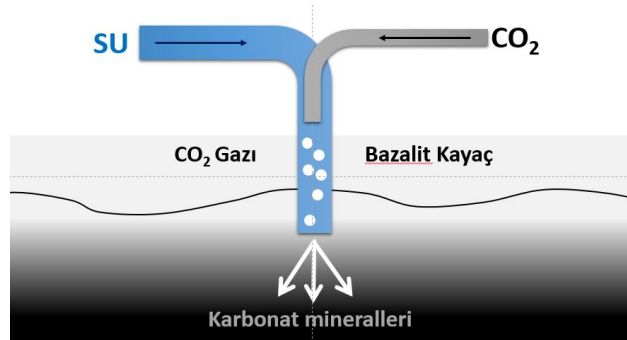
Derinde CO₂ depolanması için petrol ve doğalgaz endüstrisini geliştirilen birçok teknoloji türü kullanılmaktadır. Şu anda yapılan çalışmalarda, CO₂ 800 m derinliğinde tuz veya petrol alanına depolandığında yeryüzüne çıkması engellenebilmektedir. Okyanuslara depolama iki yolla yapılabilir. Sabit bir boru hattı veya hareket halindeki bir gemi yardımıyla yapılabilir. Okyanusa depolama ekolojik alanlara verebileceği zararlar halen araştırılmaktadır. CO₂'nin kirliliği su akıntılarında metal oksitlerle reaksiyona girerek kararlı karbonatlar oluşur. Ancak bu yöntem bugünkü teknoloji ile deney fazındadır. Kimyasal işlemlerde CO₂'nin endüstriyel kullanımları ile karbon içerikli ürünlerin elde edilmesi mümkündür. KTD gelişme aşamasında olup, tutulan emisyonun birleştirilmesi, taşınması

ve entegre KTD sistemlerine depolanması için bilimsel çalışmalar devam etmektedir. CO₂'nin tuz formlarına jeolojik depolama potansiyeli oldukça fazla olup uygulamadaki ekonomik potansiyel belirsizdir (IPCC. 2005).

Yeraltı İçi Enjeksiyonlar Karbon Dioksiti Taşa Çevrilmesi

Karbon yakalama ve depolama işleminin en büyük dezavantajlarından biri karbondioksit gazının hangi alanda depolanacağıdır. Bilim adamları tortu kayaların bulunduğu bölgelerde depolama işleminin yapılmasının en uygun alan olduğunu belirtmektedir. Tortu kayalarının bulunduğu bölgeler ise bitmiş petrol kuyularının yeraltı sularının azaldığı bölgeler ve kumtaşının bulunduğu alanlarda bulunmaktadır. Fakat depolama işleminin yapıldığı alanlardaki kayalarda oluşan deliklerden tekrar CO₂ gazının atmosfere dönmesine neden olabilecek olması endişe vermektedir.

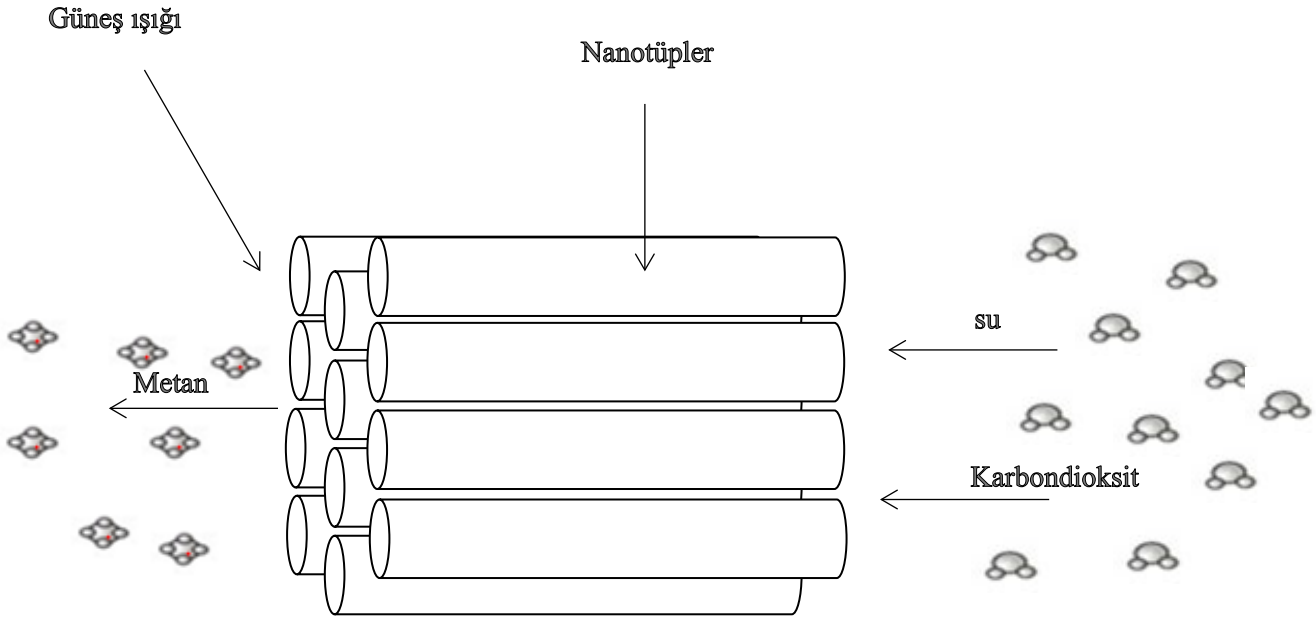
Bu nedenle 2006 yılında bilim adamları farklı bir arayışa girmişlerdir. Bazalt dünyada okyanusların dip kısmında ve yeryüzünde belli başlı jeolojik alanlarda bulunmaktadır. Bazaltın CO₂ ile tepkimesi sonucunda kumtaşından farklı olarak kalsit karbonat mineraller oluşmaktadır. Bu işlemin uzun zamanlar alacağı tahmin edildi Bu amaç doğrultusunda İzlanda'nın Reykjavik bölgesinin 25 km doğusunda CarbFix deneyi gerçekleştirdiler (Şekil 8). İzlanda yeraltında bulunan bazalttan CO₂ enjekte edilip yakında bulunan jeotermal enerji santralinde toplamayı hedeflemişlerdi. 2012' yılında bilim adamları gözlem amaçlı İzlanda'da 220 ton CO₂ yeryüzün 400 ile 800 metre altındaki kısımda bulunan bazalt katmanına enjekte işlemini gerçekleştirdiler. Bir yandansa karbonik asit oluşumunu gerçekleştirmek için gaz ve su eklendi. Atık haldeki karbon diğer kirletici gazlardan ayrılır. Karbonik asit oluşturarak suyun içinde karbonik asit çözünür. Çözelti depolama enjeksiyon işlemi için yeraltında bulunan bazalt katmanına enjekte edilir. Karbonik asit etrafta bulunan kayalardaki magnezyum ve kalsiyum maddeleri sızdırır. Belli bir süre sonra çözelti bazalt katmanında oluşan tepkime sonucunda kireç taşı meydana gelir. Daha sonra alanın bulunduğu kısımda bulunana kuyulardan örnekler alarak deneyler yapılarak değişimler izlendi. Bu işlem sırasında gözlem kuyusunda bulunan pompalarda meydana gelen arızaların meydana getiren karbon içeren kalsitten oluştuğu tespit edildi. Yapılan deneyler sonucunda depolama alanından alınan çözülmüş karbon ölçümlerinde depolanan karbonun % 95' inden daha fazla kısmın kalsit ve diğer minerallere dönüştüğü belirlendi (Alfredsson vd, 2013; Snæbjörnsdóttir)



Şekil 4. CO₂ Depolama Görünümü

Karbondioksitin Yararlı Bir Yan Ürüne Dönüştürülmesi

Enerji üretimi için kullanılan fosil kaynakların yakılması işlemi sonucunda atmosfere emisyon olarak verilen karbondioksitin sera gazı miktarında artışa neden olmaktadır. Atmosferde bulunan sera gazı miktarını dengelemek için CO₂ tutma ve depolama teknikleri ile karbondioksit yararlı bir yan ürüne döndürmek oldukça önemlidir. Emisyon sonucu oluşan gazdan sanayi kullanılan hammaddenin üretimi için kullanmak oldukça avantaj sağlamaktadır. Bu işlem ile ekonomik olarak oldukça kazanç sağlanmaktadır. Bunun yansıra dizel yakıtı, jet yakıtı gibi yeni bir yakıtı dönüştürmek oldukça kazanç sağlayacaktır. CO₂'yi sıvı yakıtı dönüşümü ile petrol kullanımında büyük oranlarda azalma görülecektir. Atıl durumdaki karbondioksit faydalı bir hammadde haline dönüşerek daha az kimyasalların kullanıma ve yenilenebilir kaynakların kullanımı daha aza indirecektir. Nanoteknoloji uygulaması ile fosil yakıtların kullanımı sonucu oluşan karbondioksiti yakıt olarak kullanmada yardımcı bir işlem olabilir. Böylelikle emisyonun atmosfere verilmesinin önüne geçilirken tesisin enerji ihtiyacını da karşılanabilir. Yakalama işlemi sonucu tutulan CO₂'yi değerlendirmenin bir başka yöntemi ise metan gibi yanabilir bir madde haline dönüştürmek. Karbondioksitin yapısında bulunan iki tane oksijen atomu yerine dört tane hidrojen atomunu yerleştirmek. Penn State'de, bilim adamları güneş enerjisini kullanarak karbondioksitten metan gazı üretimini gerçekleştirmeye çalışmaktadırlar. Bu çalışmada bir katalizör ile titanyum oksit tüpleri kullanılıyor (Şekil 9).

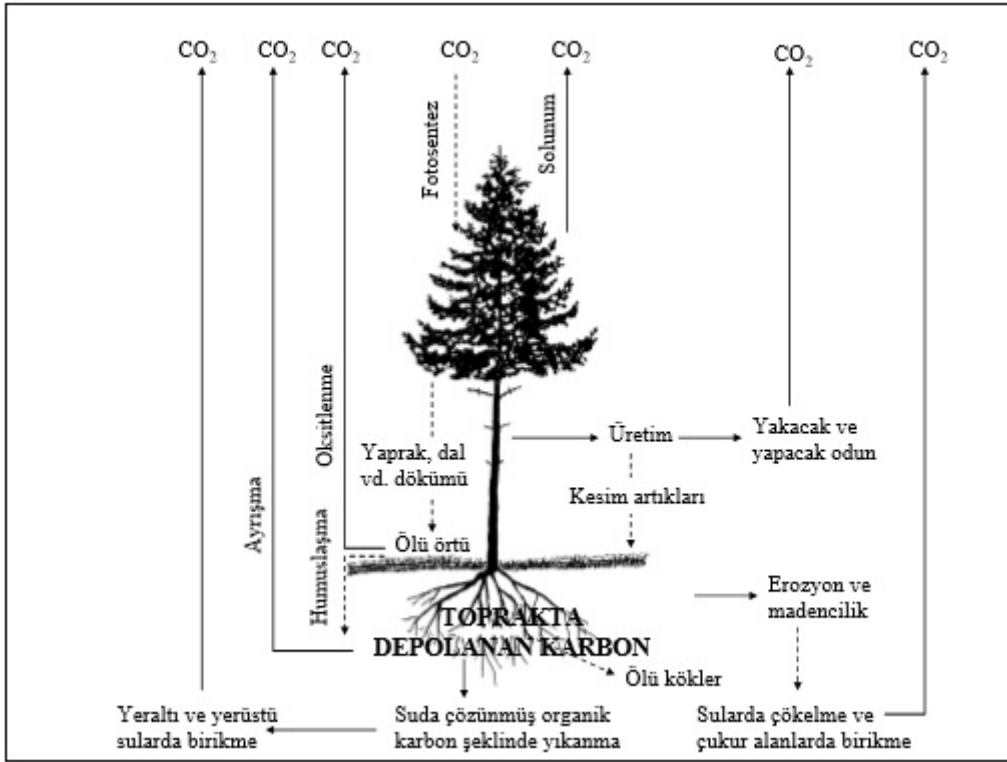


Şekil 5. CO₂'den Metanol Elde Edilmesi

Bu işlem ile karbondioksitin termal santralin yakınında depolama işlemi sonucu tesiste gerekli olan yakıtı temin edilebilir (Şekil 5). Karbondioksitin atıl duruma kalmasını önleyerek atmosfere emisyon olarak verilmesinin önüne geçirilecektir. Karbondioksitin metan gazına dönüşmesi işleminde güç kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanılması maliyet açısından bir avantaj durumuna gelmektedir (Yılmazoğlu, 2013).

Emisyon Miktarına Göre Ağaç Dikilmesi

Ağaç dikme işlemi günümüzde uygulanan en yaygın yöntemdir. Fosil yakıtlı kaynakların kullanımı sonucu oluşan karbondioksit ağaçlar için bir yutak vazifesi görmektedir. Ağaçlar yaptıkları fotosentez olayı ile atmosferde bulunan CO₂'yi yapraklarında bulunan stomalardan bünyelerine alarak yaşamlarını sürdürmek için besine dönüştürürler (Şekil 6).



Şekil 6. Ağacın CO₂' yi Tutması

Günümüzde termik santrallerde ve diğer karbondioksit salınımı yapılan faaliyetlerde genel olarak ağaç dikimi işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağaçların ne kadar karbondioksit tutacak miktarı ağaçların yaşına ve türüne bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Günümüzde yakın bir değer olarak yıllık olarak bir ağacın tuttuğu karbondioksit miktarı yaklaşık olarak 11 -12 kg değeri arasındadır. Bizim toplam emisyonumuz 971,613 Ton CO₂/yıl. Hesaplama yapıldığında;

$$(971,613 \text{ Ton CO}_2/\text{yıl}) * (103 \text{ kg/Ton}) / (12 \text{ kg/ ağaç}) = \sim 8,000,000 \text{ ağaç dikilmelidir}$$

KAYNAKLAR

- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2018). Sera gazı Emisyon İstatistikleri, 2016, Sayı: 27675.
- Taşkın E., (2018). Linyit Yakıtlı Pilot Termik Santral İçin Baca Gazı Emisyon Azaltma Seçeneklerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 2018
- Goncaloğlu, B. İ., Ertürk, F., Erdal, A., (2000). Termik santrallerle Nükleer santrallerin Çevresel Etki Değerlendirmesi Açısından Karşılaştırılması. *Ekolojik Çevre Dergisi*, 34, İstanbul.
- Selici Tülay, Utlı Zafer ve Nadir İlten, Enerji Kullanımının Çevresel Etkileri ve Sürdürülebilir Gelişme Açısından Değerlendirilmesi, 1-5, <http://www.solaracademy.com/menus/Enerji-Kullanimi-Cevresel-Etkiler-Surdurulebilir-Enerji.005428.pdf>, (Erişim Tarihi: 11.11.2019).
- Koç A., Yağlı H., Koç Y., Uğurlu İ. (2018) Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makine*, 59:692, 86-114.
- Topal H., Durmaz, A., Atımtay A.T. (2018), Petrokok Ve Linyit Karışımlarının Dolaşım Akışkan Yatakta Yakılması Ve Emisyonları, *Engineer And Machinery*, 59:692, 86-114.
- Karaatlas, Kurulu ve kurulması planlanan termik santraller haritası, <http://karaatlas.org/harita/> Erişim tarihi:11.11.2019
- <http://www.enerjiatlas.com/>, Erişim tarihi: 11 Kasım 2019.
- Tebliğ, Sera Gazı Emisyon Raporlarının Doğrulanması Ve Doğrulayıcı Kuruluşların Yetkilendirilmesi Tebliği. 2015, Resmî Gazete.
- IPCC, (2005). IPCC special report on carbon dioxide capture and storage. United States.
- Eleren S.Ç. Öner B., (2019), Sürdürülebilir ve çevre dostu biyoyakıt hammaddesi: Mikroalgler Sustainable and eco-friendly raw materials for biofuels: Microalgae, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 25(3), 304-319, 2019
- Alfredsson, H.A., Oelkers, E.H., Hardarsson, B.S., Franzson, H.S., Gunnlaugsson, E., Gislason S.R., (2013). The geology and water chemistry of the Hellisheidi, SW-Iceland carbon storage site. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 12, 399-418, 2013.
- Snæbjörnsdóttir, S.O., Oelkers, E.H., Mesfin, K., Gunnarsson, I., Gunnlaugsson, E., Gislason S.R., (2017). The chemistry and saturation states of subsurface fluids during the in situ mineralisation of CO₂ and H₂S at the CarbFix site in SW-Iceland. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 58, 87-102.
- Yılmazoğlu, Z. (2013). Yenilenebilir Metan Üretimi Ve Karbon Nötr Topluma Geçiş. *Mühendis ve Makine*, 54: 643, 47-53.



Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 10.12.2019
Kabul Tarihi : 26.12.2019

Received Date : 10.12.2019
Accepted Date : 26.12.2019

AKKAYA SÖLESTİN YATAĞININ JEOLojİSİ, MİNERALojİK- PETROGRAfİK ÖZELLİKLERİ VE İZOTOP (Sr, S, O, H) JEOKİMYASİ (ULAŞ, SİVAS-TÜRKİYE)

GEOLOGY, MINERALOGICAL - PETROGRAPHICAL FEATURES, AND ISOTOPE GEOCHEMISTRY (Sr, S, O, H) OF AKKAYA CELESTINE DEPOSIT (ULAŞ, SİVAS-TURKEY)

Çiğdem ŞAHİN DEMİR ^{1*} (ORCID: 0000-0002-0630-4924)

Ali UÇURUM ² (ORCID: 0000-0002-9548-353X)

Ahmet EFE ² (ORCID: 0000-0002-5989-4753)

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, SMYO, 58140, Sivas

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Çiğdem ŞAHİN DEMİR, cigdemshahin80@gmail.com

ÖZET

Sölestin içeren evaporitler Sivas Tersiyer Havzasında yaygındır. Sivas bölgesinde Akkaya sölestin yatağı en eski ve en büyük açık işletme olup Eosen yaşlıdır ve masif cevher içermektedir. Evaporit minerallerin δD (-88 ‰ ile -117 ‰) ve $\delta^{18} O$ (O 16.2 ‰ ile 18.1 ‰) verilerine göre Akkaya sölestin yatağının oluşumunda etkin olan suyun sedimenter kökenli olduğu söylenebilir. Evaporit minerallerinin $\delta^{34} S$ verilerine (22.9 ‰ ile 30.6 ‰) göre S'un kaynağı denizel evaporittir. Sölestinlerin yüksek $\delta^{34} S$ değere sahip olmaları, tuzlu sular içinde çözülmüş kükürtün sülfür mineralinin oluşumu için indirgendliğini göstermektedir. Evaporit minerallerinin $\delta^{18} O$, $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,707646-0707724-jips; 0,707202-0,707391-sölestin) ve $\delta^{34} S$ değerleri denizel kökeni işaret etmektedir. Sölestinlerin düşük $^{87}Sr/^{86}Sr$ orana sahip olmalarının nedeni, tabakalar arası suyun evaporit minerallerinin oluşumu sırasında ortama evaporitlerle ara katkılı volkano sedimenter kayalardan beslenen hidrotermal suların katılımını ve böylelikle Sr'u izotopik değişime uğrattıklarını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Akkaya (Ulaş-Sivas), sölestin, duraylı izotoplar, Sr izotopu

ABSTRACT

Celestine-bearing evaporite mineralization is widespread in Tertiary evaporitic Sivas Basin. Akkaya Celestine deposit is oldest and the biggest open pit mine in the Sivas area. Akkaya Celestine deposit is Eocene in age and characterized by having massive ore. Based on δD (-88 ‰ ile -117 ‰) and $\delta^{18} O$ (O 16.2 ‰ ile 18.1 ‰) data of evaporite minerals, it can be said that sedimentary water is responsible in the formation of Akkaya Celestine deposit. $\delta^{34} S$ data of evaporites from Akkaya Celestine mine is indicate that origin of S is marine evaporite. High $\delta^{34} S$ values (22.9 ‰ ile 30.6 ‰) of celestine indicate that the dissolved sulphur in basinal brines had undergone partial reduction to sulphide. $\delta^{18} O$, $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,707646-0707724-gypsum; 0,707202-0,707391-celestine) with $\delta^{34} S$ suggesting that this evaporite deposit is dominated by a marine signature. All celestine samples have lower $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios suggest that interstratal brines may have mixed with other circulating fluids (meteoric hydrothermal) that had interacted with the volcanic materials and had undergone Sr isotope exchange.

Keywords: Akkaya (Ulaş-Sivas), celestine, stable isotopes, Sr isotope.

GİRİŞ

Akkaya (Ulaş-Sivas) Sölestin Yatağı'nın Sivas Havzası'nda 1980'li yıllardan itibaren üretim yapılan en büyük açık işletme olması, diğer evaporitik serilerle ilişkilerinin iyi gözlenmesi, üretilecek verilerin havza evaporitlerinin anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünülerek yatağın jeolojisi ve izotop jeokimyası incelemelerini amaçlayan bu çalışma yapılmıştır. Çalışma alanı Sivas il merkezinin 20 km güneyinde İ38-d4 paftasında, Akkaya Köyü'nün kuzeydoğusunda Körtuzla mevkiinde yer alan sölestin yatağının oluşum koşullarının-kökeninin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, sölestin minerallerinde duraylı izotop ($\delta^{18}\text{O}$, δD ve $\delta^{34}\text{S}$) ve radyojenik izotop ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) analizleri yapılmıştır. Sölestin oluşumunda etkili olan hidrotermal suyun kökeninin belirlenmesi için $\delta^{18}\text{O}$ ve δD , sölestin ve yan kayaçlarında bulunan S'ün kökeni için $\delta^{34}\text{S}$ ve Sr'un kökeni için de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları değerlendirilip literatür de bilinen benzer yatakların özellikleri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma, saha ve laboratuvar incelemelerinden oluşmaktadır. Barit Maden Türk A.Ş.'ye ait Ulaş Akkaya Köyü civarı İR:888 ruhsat nolu stronsiyum sahasında yapılan "M" rumuzlu 26 adet sondajda, cevher ve yan kayaçtan olmak üzere toplam 194 adet karot örneği alınmıştır. Alınan bu örneklerden 13 tanesinin ince kesiti ve 3 tanesinin parlak kesiti yapılmıştır. Mineralojik incelemeler ve cevher mikroskopisi incelemeleri Nikon Coolpix 4500 dijital fotoğraf makine atışmanlı Nikon Eclipse E 600 Pol mikroskobunda gerçekleştirilmiştir.

XRD çözümlenmeleri Rigaku marka DMAX IIIC model X-ışınları difraktometresinde (Anot=Cu ($\text{CuK}_\alpha=1.541871\text{Å}$), Filtre=Ni, Gerilim=35 kV, Akım=15 mA, Gonyometre hızı=2°/dak., Kağıt hızı=2cm/dak., Zaman sabiti=1 sn, Yarıklar=1° 0.15 mm 1° 0.30 mm, Kağıt aralığı=2 θ = 5-35°) C.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji-Petrografi ve Jeokimya Araştırma Laboratuvarları'nda (MİPJAL) yapılmıştır. Tüm kayaç bileşenleri tanımlanmış ve yarı nicel yüzdeleri de dış standart yöntemi (Brindley, 1980) esas alınarak hesaplanmıştır. Tüm kayaç ve kil fraksiyonu hesaplamalarında mineral şiddet faktörleri kullanılmış olup, yansımalar mm cinsinden ölçülmüştür.

Litojeokimyasal analizler cevher ve yan kayaçtan alınan 44 örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Jeokimyasal analizler için örnekler, öncelikle çeneli kırıcıdan yaklaşık 0.5 cm'den daha küçük boyutlara kırılmıştır. Daha sonra halkalı değirmende pudra elde edilinceye kadar öğütülmüştür.

Ana ve iz element konsantrasyonları laser ablation atışmanlı Micromass Platform ICP-HEX-MS ile Nevada Bureau of Mines and Geology (USA) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir

İzotop analizleri için saf jips, sölestin ve anhidrit minerallerini içeren örnekler öncelikle serbestleşme tane boyuna kadar kırılmıştır. Daha sonra saf yakın ayırma işlemi için mineral ayırma düzeneğinde ağır sıvılar Bromoform- CHBr_3 , Diiodomethan- CH_2I_2 kullanılmıştır. Ağır sıvı ile elde edilen örnekler filtrelendikten sonra aseton ile yıkanarak mikroskop altında elle ayrılmıştır.

Sölestin, jips ve anhidrit örneklerinden seçilen toplam 15 örnek üzerinde duraylı izotop ($\delta^{18}\text{O}$, δD ve $\delta^{34}\text{S}$) analizleri yapılmıştır. Duraylı izotop analizlerinin tamamı Nevada Stable Isotope Laboratory, University of Nevada, Reno (Reno-NV, USA)'de gerçekleştirilmiştir.

Jips, sölestin ve anhidritin $\delta^{18}\text{O}$ değeri BrF_5 'in florlama için kullanıldığı ve lazer-çözümleme tekniği kullanılarak devamlı akış metodu ile analiz edilmiştir. Kullanılan yöntem Sharp (1990) ve Sharp ve diğ. (2001) yöntemlerinde değişiklik yapılarak ortaya çıkartılmıştır. Örnekler Merchantek EO CO_2 lazeri ile ısıtılmış ve izotop analizleri çift girişli Micromass Isoprime izotop oran kütle spektrometresinde moleküler O_2 de analiz edilmiştir. Analizler NBS-28 nolu standart ($\delta^{18}\text{O}=+9,6\%$) kullanılarak kalibre edilmiştir. Hata oranı $\pm 0,15\%$ dir. Değerler V-SMOW (Vienna Standart Mean Oceanic Water)'a göre rapor edilmiştir.

Sölestin, jips ve anhidrit'in $\delta^{34}\text{S}$ izotop değerlerinin belirlenmesinde Giesmen ve diğ., (1994)'in metodu kullanılarak devamlı akış hatlı Micromass Isoprime izotop oran kütle spektrometresinde belirlenmiştir. Analizler GSL (Green Sphalerite), UGLI (Galena), BSL (Brown Spahlerite) ve MIC (Chalcopyrite) standartları kullanılarak kalibre edilmiştir. Hata oranı $\pm 0,2\%$ dir. Değerler V-CDT (Vienna Canyon Diablo Troilite)'a göre rapor edilmiştir.

Seçilen 10 sölestin ve jips örneği üzerinde $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarının tespiti Eberhard Karls Universitât, Tübingen (Almanya) jeokimya laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Seçilen örneklerde $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranının tespitinde önce mineraller, 140 °C'de sıcak bir levha üzerinde 4 gün boyunca %52'lik HF çözeltisi içinde çözülmüştür. Sindirilen örnekler kurutulmuştur ve 6N'lık HCl asit içinde yeniden çözülmeye bırakılmıştır daha sonra tekrar kurutulmuş ve ardından 2.5N'lık HCl asit içinde yeniden çözülmüştür. Sr element ayrılmasında, Bio Rad AG 50W-X8, 200-400 mesh 5ml'lik bir resin yatağı ile geleneksel iyon değişim kromatografi ile kuvars kolonları üzerinde yapılmıştır.

İzotop ölçümleri, Finnigan MAT 262 kütle spektrometresinde, Thermal İyonizasyon Kütle Spektrometresiyle yapılmıştır. Sr, önceden belirlenmiş W filamentleri üzerinde bir Ta-Hf aktivatör ile yüklenmiştir ve tek-flament modunda ölçülmüştür. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları, $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ e göre normalize edilmiştir. NBS 987 Sr standartı, 0.710250 ± 0.000009 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranını vermektedir.

GENEL JEOLJİK ÖZELLİKLER

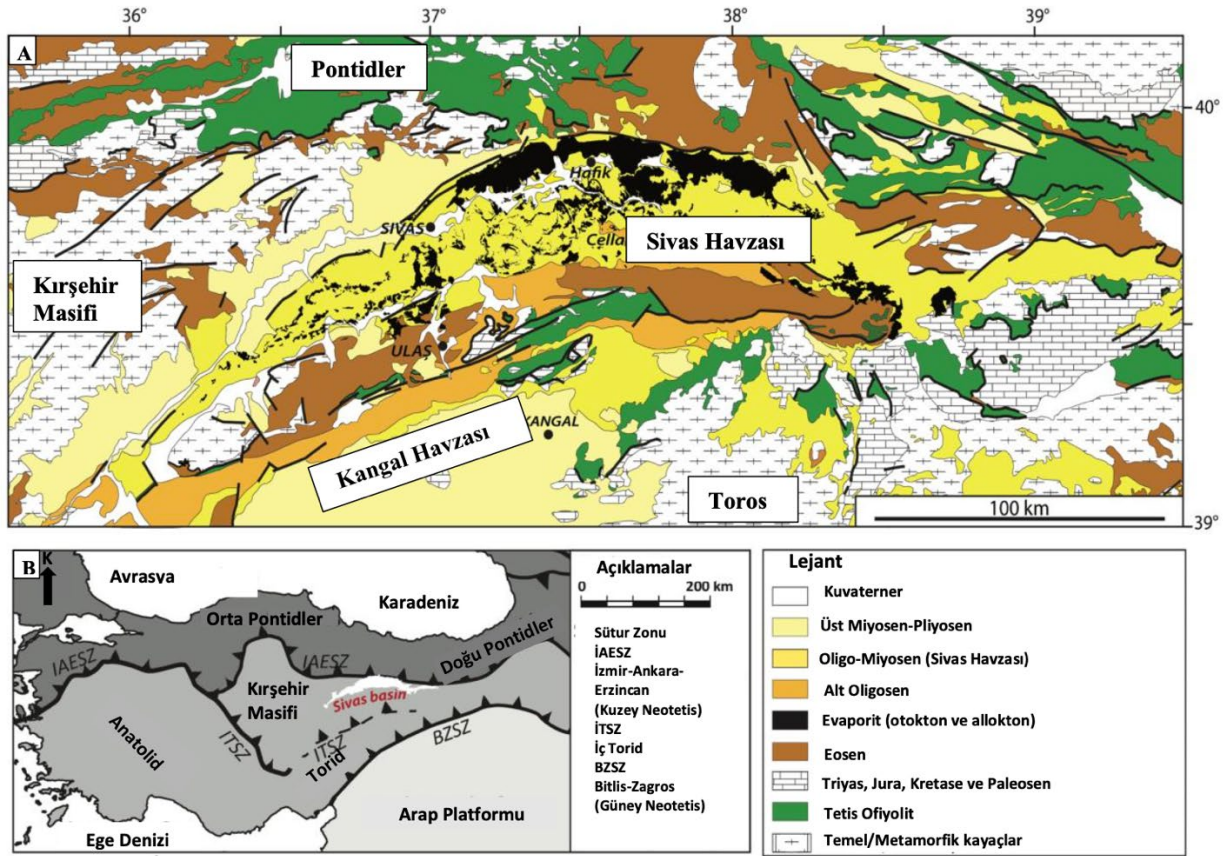
Sivas Tersiyer Havzası

Sivas Havzası, 200 km uzunluğunda ve 50 km genişliğinde olup kuzeyde Pontid volkonik yayıyla, batıda Kırşehir metamorfik masifiyle, güneyde de Torid ile sınırlıdır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Guezou ve diğ., 1996; Görür ve diğ., 1998; Yalınız ve diğ., 2000; Okay ve diğ., 2006; Poisson ve diğ., 2016; Ribes ve diğ., 2018), (Şekil 1).

Sivas Havzasının oluşumu Maastirhiyien'de Tecer ve Gürlevik formasyonlarını içeren karbonat platformu ile ofiyolitik temel üzerinde başlamıştır (Kurtman, 1973; Cater ve diğ., 1991). Paleosen-Eosen, Sivas Havzası güney sınırında Bahçecik konglomerasının depolandığı dönemdir (Kurtman, 1973; Guezou et al., 1996; Özçelik and Altunsoy, 1996; Poisson ve diğ., 1996; Yılmaz ve Yılmaz, 2006; Önal ve diğ., 2008). Konglomeraların üzerine derin deniz türbiditleri, lav ve volkanoklastik sedimanlardan oluşan Bozbel formasyonu gelirken (Kurtman, 1973; Özçelik ve Altunsoy, 1996; Poisson ve diğ., 2016), Eosen'in en üst kesimine ise kalkerli çamurtaşı ile geçişli sığ denizel fasiyesinden oluşan Tuzhisar formasyonu gelmektedir (Kurtman, 1973; Cater ve diğ., 1991; Özçelik ve Altunsoy, 1996; Gündoğan ve diğ., 2005). Anhidrit ve jips tabakalarının ardalamasından oluşan bu ana tuz seviyesi, halokinetik kökenli mini basenlerin kaynağı olarak gösterilmektedir (Poisson ve diğ., 2016; Kergaravat ve diğ., 2016; Ribes ve diğ., 2018, Legeay ve diğ., 2018) (Şekil 2).

Evaporitik Tuzhisar formasyonu, kırmızı ve mordan yeşile değişen renklerde, türbiditik ve playa-göl ortamını temsil eden ince taneli kumtaşı ve şeylden oluşan Selimiye formasyonu ile üzerlenmiştir (Kurtman, 1973; Poisson ve diğ., 1996). Selimiye formasyonunun depolanması sırasında tuz domlarında (Steel, 1998) içerisindeki evaporitin çözünüp yeniden hareketlenmesiyle ilk jenerasyon mini basenler oluşmuştur (Poisson ve diğ., 2016; Kergaravat ve diğ., 2016; Ribes ve diğ., 2018). Sivas havzasının merkezinde, bu tuz domları ikincil mini basenlerin oluşumuna katkı sağlayarak, bu havzalarda maksimum 2400m kalınlığa sahip akarsu-göl sedimanlarından oluşan Karayün formasyonu depolanmıştır (Steel, 1998; Ribes, 2015; Ribes ve diğ., 2015; Kergaravat ve diğ., 2016) (Şekil 2).

Karayün formasyonunun üzerine ise Oligosen-Miyosen'de bölgesel transgresyonu (Özcan ve diğ., 2009; Poisson ve diğ., 2010, 2016; Sirel ve diğ., 2013) temsil eden sığ-denizel ve marn kumtaşı ardalanmalı kısmen ve lokal olarak algli kireçtaşı içeren Karacaören formasyonu (Kurtman, 1973; Özcan ve diğ., 2009; Poisson ve diğ., 2010; Sirel ve diğ., 2013) gelmektedir. Üzerleyen Benlikaya formasyonu ise Orta-Geç Miyosen yaşlı kırmızımsı kumtaşı-konglomera ile taşkın önü çamurtaşı ardalanmalı akarsu çökelleri ile karakteristiktir (Poisson ve diğ., 1996; Poisson et ve diğ., 2010) (Şekil 2).



Şekil 1. A-Sivas Tersiyer Havzası ve civarını gösterir lokasyon ve jeoloji haritası Ribens ve diğ (2015)'den, B- Türkiye'nin ana tektonik zonlarını gösterir harita Ribens ve diğ (2015)' den.

Sölestin İçeren Sivas Tersiyer Havzası Evaporitlerinin Genel Özellikleri

Yılmaz ve Yılmaz (2006) tarafından alt basenlere ayrılan Sivas Tersiyer Havzası'nın sadece Şarkışla-Cellali alt havzasında sölestin içeren evaporitler mevcuttur. Her ne kadar Akçakışla-Düzyayla ve Akkışla-Altınyayla alt havzasında jips içeren seviyeler bulunsada sölestin içeren evaporitik seviyeler yoğunlukla Şarkışla-Cellali alt havzasında gözlenmekte, diğer jips seviyeleri içeren alt basenlerde gözlenmemektedir.

Çalışma konusunu teşkil eden sölestin içeren ve Sivas Havzası içerisinde yer alan evaporitik Şarkışla-Celalli alt havzası kuzeyde Yukarı Kızılırmak fay zone ile güneyde ise Tecer bindirmesi ile sınırlıdır.

Tersiyer yaşlı Sivas Havzası'nın Şarkışla-Celalli alt havzasında yaygın olarak sölestin içeren evaporitik kayalar bulunmaktadır. Bunlar başlıca üç zone ayrılmaktadır (Tekin, 2001), (Şekil 3). Birinci zone geç Eosen yaşlı ve laminalı bir karakter sergileyen jipslerdir. Bu jipsler Eosen sonundaki regresyona bağlı olarak oluşan sığ karakterli iç lagünlerde çökelmişlerdir

İkinci zone ise Oligosen yaşlıdır ve başlıca iki tip fasiyes sergilemektedir. Bunlar kalın ve masif karakterli jips fasiyesi ile kumtaşı ara tabakalı nodüler jips fasiyesidir. Oligosenin birinci tip fasiyesi sığ sahil sabkalarında, ikinci tip fasiyesi ise menderesli akarsuların terkedilmiş kanalları içerisinde oluşmuştur. Havzadaki üçüncü ve son evaporitik zone ise Erken Miyosen yaşlı masif ve tabakalı jipslerdir. Bunların tabakalı olanları fosilli kireçtaşları ve kumtaşları ile yer yer ara tabakalıdır. Bölgedeki bu en genç evaporit çökelişi, Sivas Tersiyer Havzası'nın üst Miyosen başında güneyden gelen sınırlı bir denizel transgresyon ürünüdür.

Yaş	My	Litoloji	Formasyon	Çökeltme Ortamları	Kaln. (m)	
Kuvaterner						
		Aliyvon teras ve traverten				
Pliyosen	Placenzian		Merakom	Göl		
	Zanclean					
Miyosen	Messinian		Incesu	Akarsu	50-200	
	Tortonian					
	Serravallian			Birim 2: Kıyı göl		
	Langhian		Benlikaya	Birim 1: Yelpaze akarsu ve örgülü akarsu	500-1000	
	Burdigalian			Birim 4: Delta düzlüğü ve sınırlı kıyı lagün Birim 3: Karışık delta ve sığ denizel karbonatlar		
	20.44		Karacaören	Birim 2: Delta düzlüğü ve sınırlı lagün Birim 1: Karışık delta ve sığ denizel karbonatlar	1000-2500	
	Aquitainian					
	23.03					
	Oligosen	Chattian			Birim 3: Akarsu-tuzlu göl	
		28.1		Karayün	Birim 2: Birleşik örgülü akarsu Birim 1: Akarsu arakatlı kıyı göl	1000-2500
Rupelian						
TUZ DOMU						
Eosen	33.9		Selimiye	Kıyı-göl Akarsu	1500-2500	
	38.0		Tuzhisar	Sabka Denizel düzlük	Otoktonlu seviye >200 ?	
	41.3		Tokus	Sığ-su türbiditleri Tokus: numulitik düzlükler (kenarları boyunca)	100-1500	
			Bözbel	Bazaltik intrüzyonlu ince tabakalı türbiditler		
	Lutetian					
	47.8		Yapalı	Kalsitürbiditler	50-100	
	Ypresian		Kozluca	Kalın tabakalı türbiditler ve volkanoklastikler Yelpaze delta Ya: Yagmurluseki Fm	100-600	
	56.0		Bahçecik			
	59.2		Gazibey			
	Paleosen	Selandian		Ko	Kızılımsı şeyl Ce: Cercapindere	100-2000
Danian			Ka	Karışık volkanoklastikler, klastikler ve karbonat türbiditler		
KRETASE						
Sivas Havzası'nın temeli	Geç Kretase		Tecer	Nadir magmatik intrüzyonlu Serpantinleşmiş peridotit napları Santoniyen-Kampaniyen sırasında oluşan üzerleme	3000 ?	
			Torid ofiyoliti			
	Ayrırtılmemiş Jura-Orta Kretase		Ofiyolitik melanj		> 50	
			Munzur Birimi	Ayrırtılmemiş platform karbonatlar Zayıf metamorfize	?	

Şekil 2. Orta Sivas Havzasının, çökeltme ortamları, formasyon ve ortalama kalınlıkları gösterir birleştirilmiş bölgesel litostratigrafik kolon kesiti (Kergaravat ve diğ., 2017'den değiştirilerek).

Bu üç evaporit zonundaki sölestin oluşumu Sivas Havzası'nda oldukça yaygındır. Sölestinler havzada, Üst Eosen yaşlı kireçtaşları ve jipsler içerisinde çatlak karstik boşluklarda dolgu türü tarzında, Oligosen'in flüvyal kumtaşı ve kireçtaşları ve jipsler içerisinde yumrular şeklinde, Üst Miyosen'nin masif jipsleri içerisinde ise büyük boyutlu mercerler şeklinde yer alırlar (Tekin 2001) (Şekil 3). Sivas Havzasındaki Eosen yaşlı birimler filiş karakterinde

oluşturmuştur. Kil, kilitaşı, kumtaşı ve kireçtaşı ardalanması şeklinde gelişen filişin içinde yer yer jips mercekleri oluşmakta ve kumtaşları ile yanal geçişli gözlenmektedir.

Havzadaki sölestin mineralinin tabanı olarak kabul edilen Eosen filişinin kalınlığı havza ortalarında 1000m.'ye kadar ulaşabilmektedir. Alacalı seri olarak tanımlanan Oligosen serileri kırmızı, bordo renkli kumtaşı, silttaşı kireçtaşı ve jips ardalanmaları şeklinde oluşmuştur. Alt Oligosen' de önce geçiş, sonrada denizel neritik ortam koşulları hakim olmuştur. Orta Oligosende bölge derinleşerek bu evrede kumlu ve karbonatlı türbiditik tabakalar çökelmiştir. Üst Oligosen'de hızlı depolanma sonucu evaporitik ortam koşulları hüküm sürmüştür.

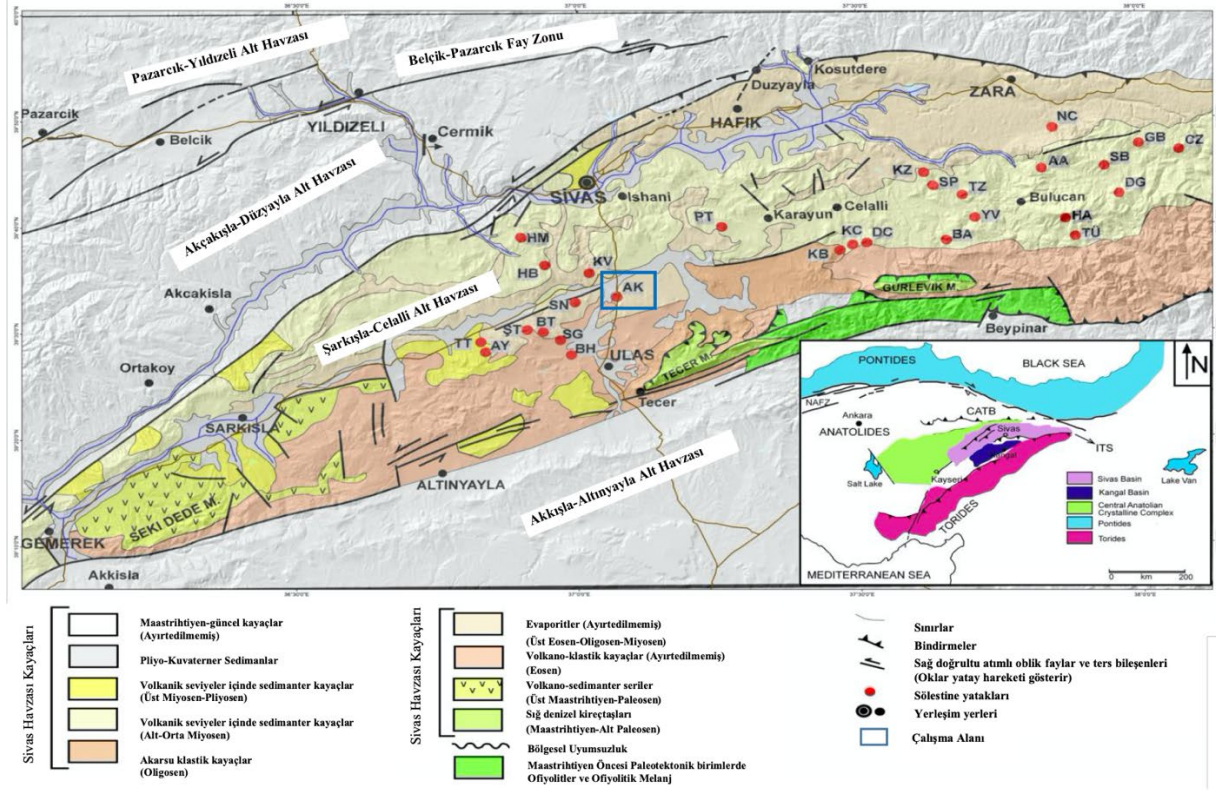
Gerek Üst Eosen, gerekse Oligosen denizleri zaman zaman çeşitli etkenlerle sığlaşarak bölgesel lagünler oluşmuştur. Deniz suyunda çok miktarda bulunan stronsiyum iyonları yer yer yoğunlaşarak jipslerin altında ve içinde sölestin mercekleri oluşturmuştur. Oligosen jipsleri içerisinde de sölestin mercekleri bulunması bu yörede denizel geçişli lagüner ortam şartlarının hüküm sürdüğünü göstermektedir.

Büyük sölestin zenginleşmesi submarin eşik veya havzaların kıyı bölgeleri ile ilişkilidir. Kıyı bölgelerden havzanın derinlerine doğru yüksek konsantrasyonlu suların akımı ile bir döngü oluşur. Böylece az konsantre deniz suyu sığ bölgelere taşınır ve havzaya yeni stronsiyum iyonları gelir. Evaporasyon sonucu konsantrasyon tekrar artmaktadır. Ardalanmalı yataklar bu şekilde deniz suyundaki buharlaşma ve konsantrasyon artışı sonucu birkaç sülfid-karbonat değişmesi sonucu meydana gelmişlerdir.

Havzadaki en fazla sölestin oluşumu, Eosenden hemen sonra ve Alt Oligosen serilerinin çökmesi sırasında jipslerle beraber olacak şekilde gelişmiştir. Bu nedenle havzada Eosen'in üst seviyeleri cevher oluşumu açısından taban olarak kabul edilmiştir. Oligosen in kalınlığı havza ortalarında 700-800m ye kadar ulaşmaktadır. Bölgede sölestin içeren alanların Oligosen birimlere göre belirgin şekilde topoğrafik olarak yükseklik ve bir sıralanma gösterdikleri gözlenmektedir. Sölestin cevheri genellikle yerel kırık ve çatlaklarla kontrol edilmektedir. Çalışma bölgesindeki sölestinler yer yer masif, yer yer boşluk dolgusu ve böbreğimsi yapıda yer yer de tabakalı olarak gözlenmektedir. Şarkışla-Cellali alt havzasında yer alan sölestin içeren evaporitler toplam 28 adet olup bunlar Şekil 4'de verilmiştir.

DEVİR	SİSTEM	SERİ	YAŞ	Kalınlık (m)	FORMASYON	ÜYE	KAYA BİRİMİ	AÇIKLAMALAR	ÇÖKELME ORTAMLARI
SENOZOYİK	TERSİYER	Kuvaterner	Pleystosen	Geç	0-30	Karatepe	Oal	Alüvyon	Karasal
		Miyosen	Erken-Orta	150-800	Hacıali	Th	SÖLESTİN (Masif) (3.zon) Masif jips ve kilitaşı Kumtaşı, marn fosilli kireçtaşı	Uyumsuzluk Sığ lagün Sığ şelf	
		Oligosen	Oligosen	100-600	Selimiye	Ts	Kırmızı çamurtaşı ve kilitaşı Nodüler ve masif jipsler SÖLESTİN (Nodüler) (2.zon)	Uyumsuzluk Kıyı sabka-alüvyal	
		Eosen	Orta-Geç	200-1000	Bozbel	Tb	Laminallı jipsler SÖLESTİN (Boşluk Dolgusu) (1.zon) Karbonat filiş	Uyumsuzluk ve yerel parakonformite Sığ şelf-lagün	
		Paleosen						Resifal Karbonatlar	Düzlük

Şekil 3. Sivas Tersiyer Havzasındaki sölestin içeren evaporitik serilerin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Tekin, 2001'den değiştirilerek).



Şekil 4. Sivas Havzası Şarkışla-Celalli alt havzasının topografik rölyefli jeoloji haritası ve sölentin yataklarının lokasyonları. Topografik veriler USGS/NASA SRTM verileri olup Reuter et al. (2007) metodu ile interpolasyonu yapılmıştır. Jeolojik veriler Yılmaz ve Yılmaz 2006'dan değiştirilerek Uçurum ve diğ 2019'dan.

Çalışma Alanının Genel Jeolojisi

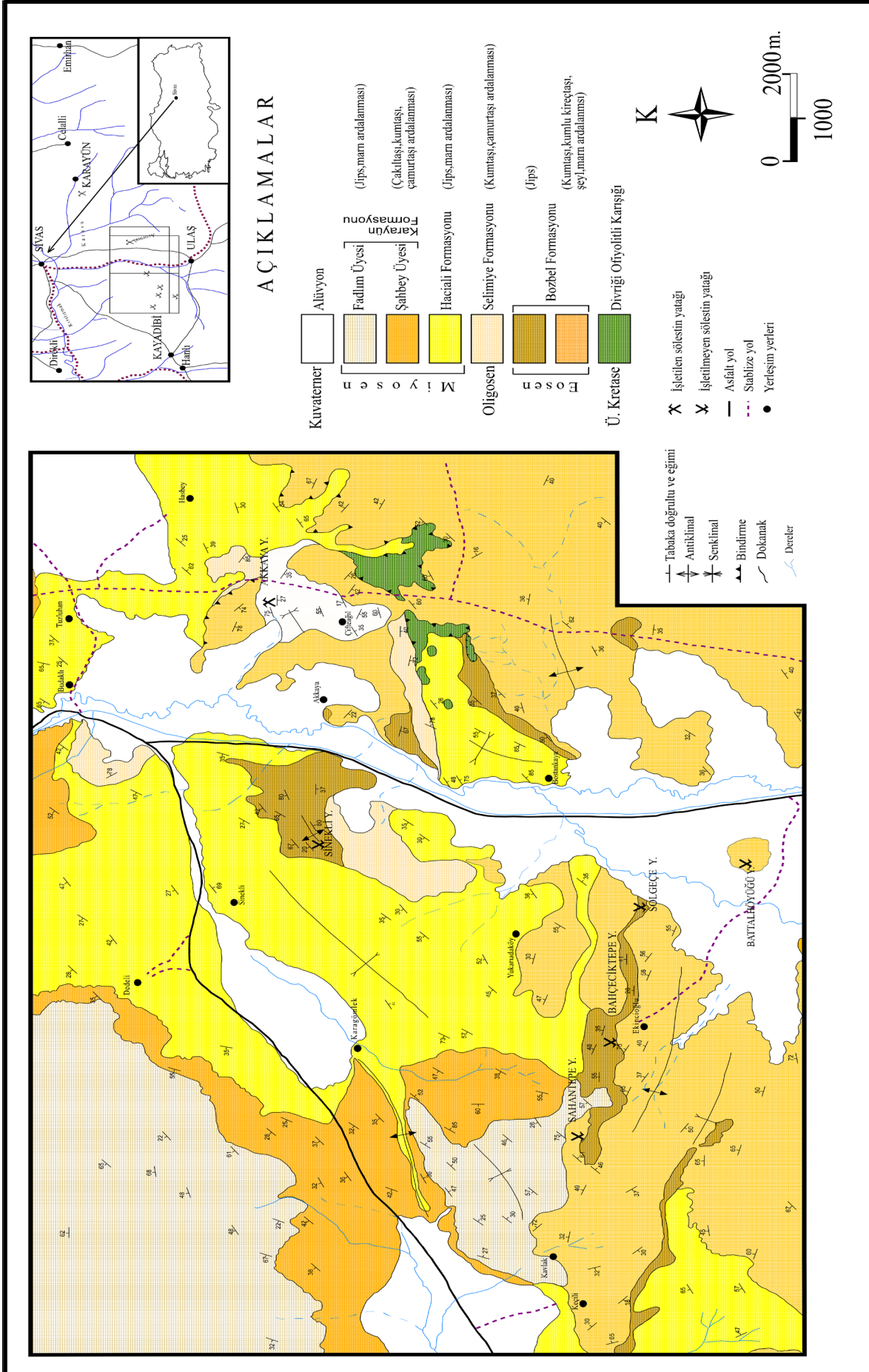
Akkaya bölgesi ve yakın civarında başlıca sedimanter kayalar hakimdir (Şekil 5). Sölentin jips veya jips içeren Eosen, Oligosen ve Miyosen yaşlı sedimanter birimlerle birlikte bulunmaktadır. Akkaya sölentin yatağının da içinde bulunduğu bölgenin temelini Üst Kretase yaşlı Divriği ofiyolitli karışığı temsil etmektedir. Birimin bileşimini, piroksenit, serpantin, gabro, spilit-diyabaz, bazalt, kireçtaşı blokları, Akdağ kireçtaşları, metamorfik kayalar, çört tabakaları oluşturur (Artan ve Setsini, 1971; Kurtman 1973; Bayhan ve Baysal 1981, Tunç ve diğ. 1991).

Divriği ofiyolitli karışığı Eosen yaşlı Bozbel formasyonu ile üzerlenir. Bozbel Formasyonunun egemen litolojisi filiş türü bir karakter gösterse de Tekeli ve diğ. (1992), içerisinde yerel ölçekte depolanmış çok farklı fasiyes gelişimlerine de sıkça rastlanıldığını belirtmiştir. Bu bağlamda Bozbel Formasyonu üç farklı fasiyes topluluğuna ayrılmıştır (Tekeli ve diğ. 1992). 1) Kumlu, marnlı-kalkerli filiş, 2) Esmer-gri şeyli filiş, 3) Jipsli kilttaşlarıdır. Bozbel Formasyonu'nun en üst kesimlerini bu jipsli kilttaşları oluşturur. İnce jips bantlarının (5-10 cm kalınlıklı) esmer kilttaş-killi kireçtaşlarıyla araldığı bu fasiyeste yer yer sölentinlerde vardır. Bu birimler birbiri üzerinde gelişebildiği gibi, birbirine yanall yönde geçişli olarak da depolanma özelliğine sahiptirler.

Çalışma alanında sedimanter istif Oligosen yaşlı Selimiye formasyonu ile devam etmektedir. Sivas Havzasında geniş bir yayılım ve kalınlık gösteren birim, tabanda jipsli bir seviye ile başlar ve üst seviyelerinde alacalı renkteki serilerle (kırmızı-gri-yeşil renkli ve bol çapraz tabakalı kumtaşı ile kilttaş) devam etmektedir.

Selimiye Formasyonu içerisinde yerel ölçekte depolanmış iki farklı fasiyes gelişimi sözkonusudur. 1) Jips fasiyesi, 2) Akarsu fasiyesi topluluğudur. Bu fasiyesler verilen sıraya göre birbirleri üzerinde gelişmişlerdir.

Miyosen yaşlı Hacıali Formasyonu'na ait olan Purtepe Üyesi'nin tabanında yer yer merccekler şeklinde büyük boyutlu masif sölentin mineralleşmeleri gözlenmektedir. Alt seviyelerinde kiremit kırmızısı, kahverengi renkli, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı, orta seviyeleri jips-marn ve üst seviyeleri ise kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn araldanmasından oluşan Miyosen yaşlı Karayün Formasyonu da Şahbey ve Fadlım Üyesi ile çalışma alanı içerisinde gözlenmektedir.



Şekil 5. İnceleme alanı ve yakın çevresinin yer bulduru ve jeoloji haritası (Ceyhan, 1996' dan)

AKKAYA MADEN OCAĞININ GENEL ÖZELLİKLERİ VE JEOLJİSİ

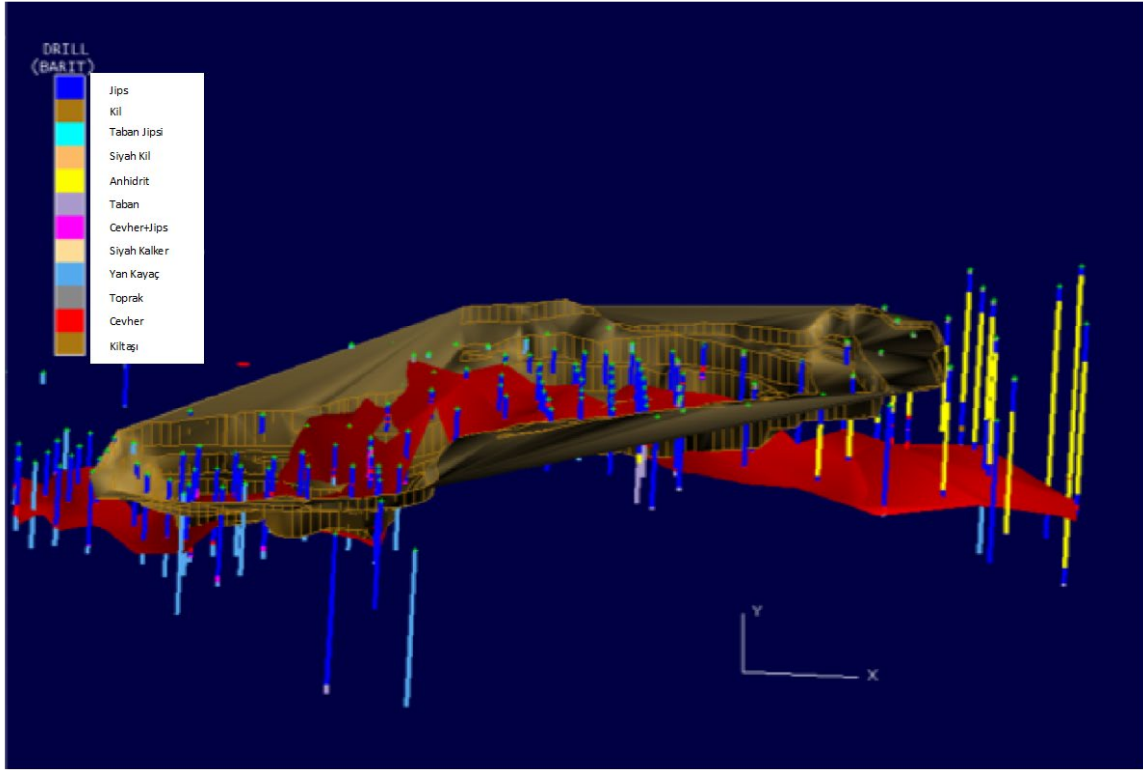
Barit Maden Türk A.Ş. tarafından işletilen Akkaya sölestin ocağında (Şekil 6) “SJ” rumuzlu 152 adet ve “M” rumuzlu 26 adet karotlu sondaj yapılmıştır. “SJ” rumuzlu sondajlardan elde edilen veriler ışığında sölestin yatağının üç boyutlu diyagramı çıkartılmıştır (Şekil 7). Bu diyagrama göre sölestin büyük ocakta KD-GB yönelimi göstermektedir. Açık işletme de yapılan yapılan jeofizik etüdler sonucunda genel olarak yeraltı yapısı, kırık sistemleri, gaz geliş alanları belirlenmiştir. Açık İşletme alanının doğu kesimi bir çanak konumda olduğu belirtilmektedir (Barit maden Türk A.Ş., 1994). Açık İşletme içerisinde belirlenen 2 fay KD-GB doğrultulu ve düşey atımlıdır ve bu faylarla havzanın ortasının derinleştiği gözlenmektedir (Barit Maden Türk A.Ş., 1994). Sölestin yatağının genel konumu ve gömülü fayların doğrultuları birbirleri ile örtüşmektedir. Fayların yüzeye kadar çıkamamış olduğu ancak ezik bir zon oluşturdukları belirlenmiştir. Bu ezik zon içerisinde su ile beraber hareket halinde CO₂ gazı tespit edilmiştir.

“M” rumuzlu ve karotlu sondaj, yatağın batı kesimini temsil etmekte ve verilerine bakıldığında sölestin zaman zaman saf şekilde, zaman zamanda jips ile birlikte gözlenmektedir (Şekil 8 ve 9). Sölestin’in kalınlığı 3-10 m arasında değiştiği belirlenmiştir. Sölestin yüzeyden itibaren en sığ olarak 28 m civarında kesilirken (M-20 nolu sondaj ile) en derin belirlenen lokasyon ise 74 m de olmuştur (M-15 nolu sondaj ile) (Şekil 9). Birçok sondajda sölestinin, jips-anhidrit ardalanmasından sonra oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 9).

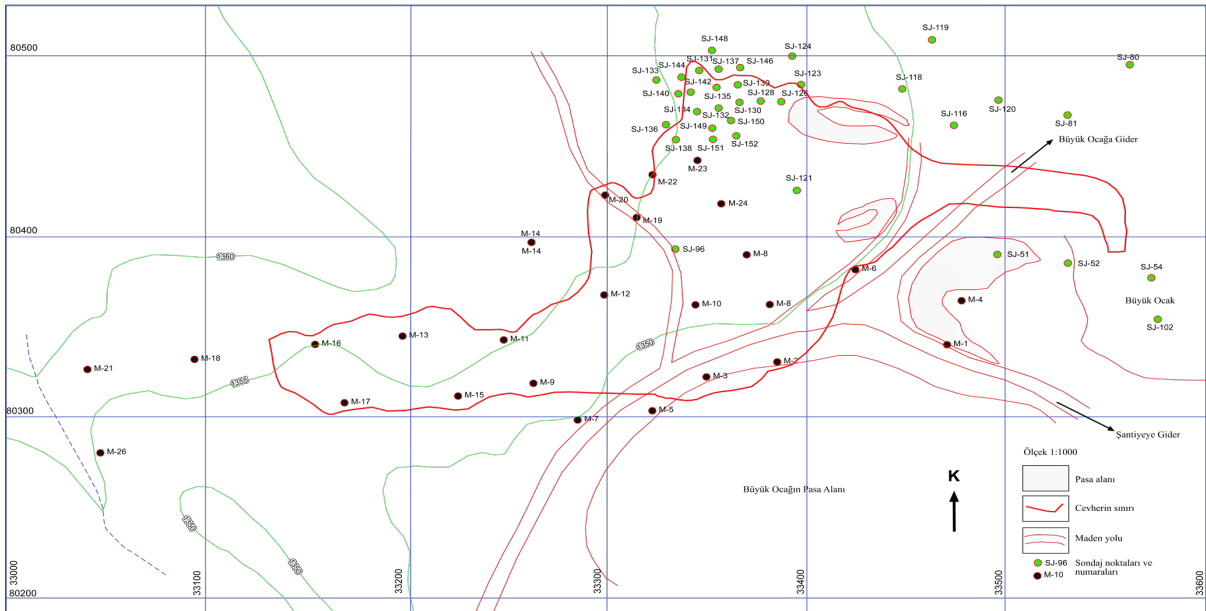
Akkaya açık işletmesinin geneline bakıldığında ise ocağın doğu tarafında anhidritin fazla olduğu görülmüştür. Ocağın hem doğu kesiminde hem de diğer sondajlardaki anhidritin varlığı günümüze değin işletmenin yeraltı ve/veya hidrotermal çözümlerle etkilenmediğini göstermektedir.



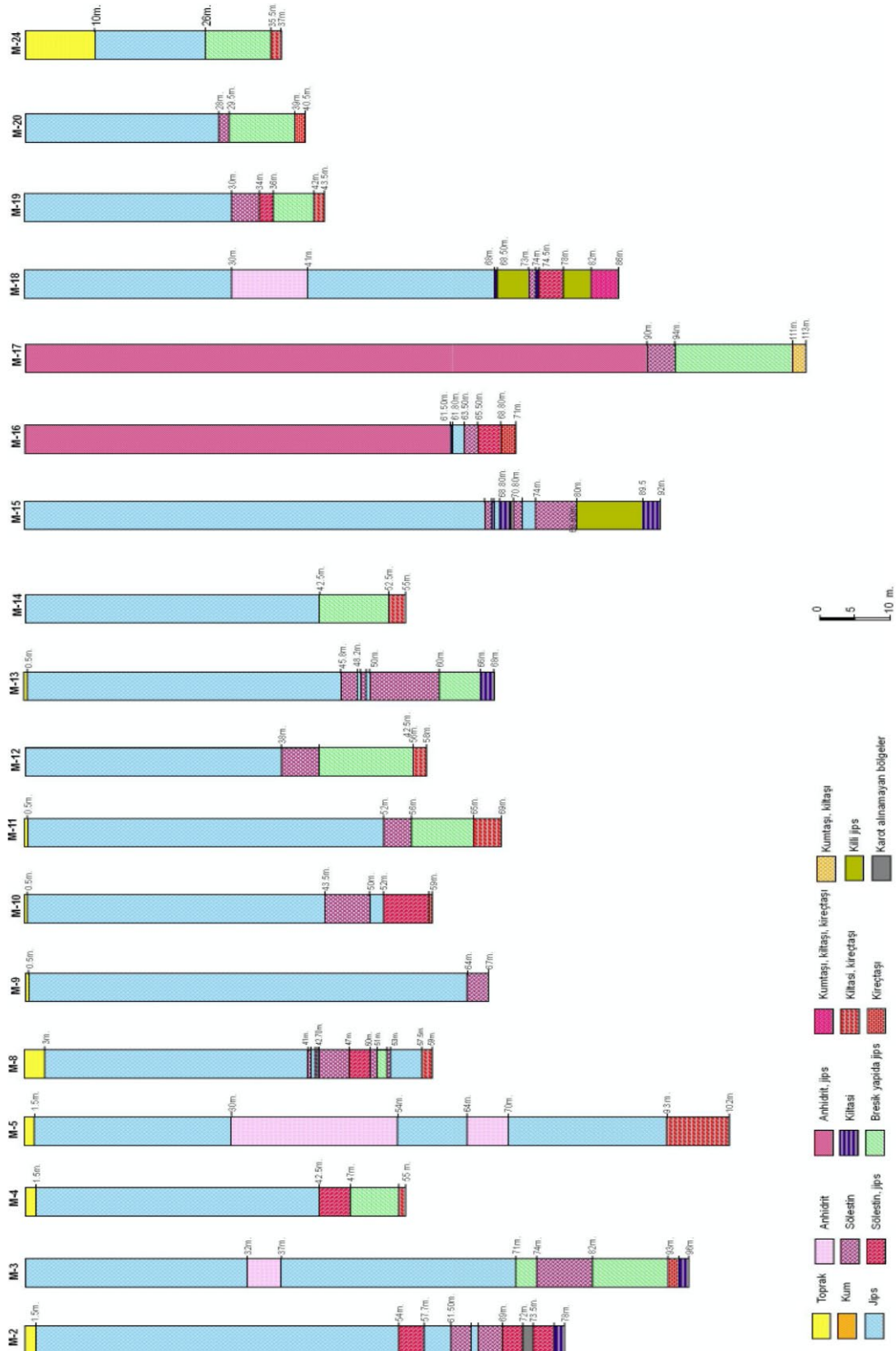
Şekil 6. Akkaya sölestin açık işletme madeninin genel görünümü, KB-GD bakış.



Şekil 7. Akkaya sölestin yatağının “SJ” rumuzlu sondaj verilerinden yararlanılarak, büyük ocağın çizilmiş üç boyutlu diyagramı G’den K’e bakış (Barit Maden Türk A.Ş’den alınmıştır).



Şekil 8. Akkaya sölestin yatağının batı kesimin imalat plan ve “M”ve “SJ” rumuzlu sondaj yerlerini gösteren diyagram (Sondaj verileri Barit Maden Türk A.Ş den) tarafından sağlanmıştır).



Şekil 9. Akkaya söleştin yatağının batı kesimine ait M rumuzlu söleştin ve jipsli söleştin kesen 18 adet sondaj kuyu loglarını gösteren diyagram (Sondaj verileri Barit Maden Türk A.Ş den) tarafından sağlanmıştır)

ÇALIŞMA ALANINDAKİ KAYAÇLARIN MİNERALojİK-PETROGRAfİK ÖZELLİKLERİ

Cevher Mikroskopisi

Cevher mikroskopisi üç adet örnek üzerinde yapılmıştır. İncelemelerde, markazit ve pirit mineralleri tanımlanmıştır.

Markazitler, yeşilimsi tonda, beyaza yakın sarı renklidirler (Şekil 10). Kesitlerde markazitlerin, çoklu ikiz yığınları veya boşluklarda çubuk şeklinde geliştiği gözlenmektedir. Çok küçük taneli markazitler izotrop görüldüğünden piritlerle karıştırılabilir. Metalik cilası ve mavi ile sarımsı renkteki kuvvetli anizotropisi tipiktir. İkiz lamellerinin oluşu ile çift nikolde piritten kolayca ayırt edilebilmektedir.

Kesitlerde gözlenen pirit mineralleri, çok açık sarı, beyaz renkli özşekilsizdir. Piritler daha çok markazitlerin çevresini saran jel piritler şeklinde gözlenmektedir. Kolloform yapı gösteren jel piritlere Rahmdohr (1982)'da özel bir ad olan "Melnikovit Pirit" adı verilmektedir. Melnikovit piritler kısmen amorf madde içerirler fakat büyük bölümü kriptokristalindir. Çoğu kez %8'e kadar As içerdiği görülür. Genellikle çok belirgin bir kahverengimsi ton gösterir fakat rengi piritte benzer. Reflektivitesi birçok durumda piritten küçüktür, bazen aynı olabilir. Sertliği geniş aralıklarla değişir. Zayıf bir anizotropi görülebilir. Piritler ayrıca sölestin kristallerinin boşluk alanları ile dilinimleri içerisinde bulutumsu- kurtçuk şeklinde de bulunmaktadır.

Markazitler ve piritler genelde birlikte gözlenmekte, markazitler özşekilli kristal şeklinde gözlenirken piritler ise genelde jel konumunda ve çoğunlukla markazitlerin etrafında gözlenmektedir (Şekil 10 A, B, C).

Markazitler ayrıca ince prizmatik ve/veya çubuğumsu şekilde de özellikle sölestinlerin içerisindeki boşluklarda gözlenmektedir (Şekil 10 D).

İnce Kesit Tanımlamaları

Sölestin örneklerinden yapılan ince kesitlerin incelenmesi sonucunda, yarı özşekilli, özşekilsiz sölestin kristalleri belirlenmiştir (Şekil 11 A, B, C, E). Sölestinler, renksiz ve optik engebesi yüksektir. C- eksenine dik kesitlerinde çok iyi dilinim izleri gözlenmektedir. Bazı sölestin minerallerinde opak mineraller vardır. Cevher mikroskopisi çalışmaları sonucu bu minerallerin pirit ve markazit oldukları tespit edildi.

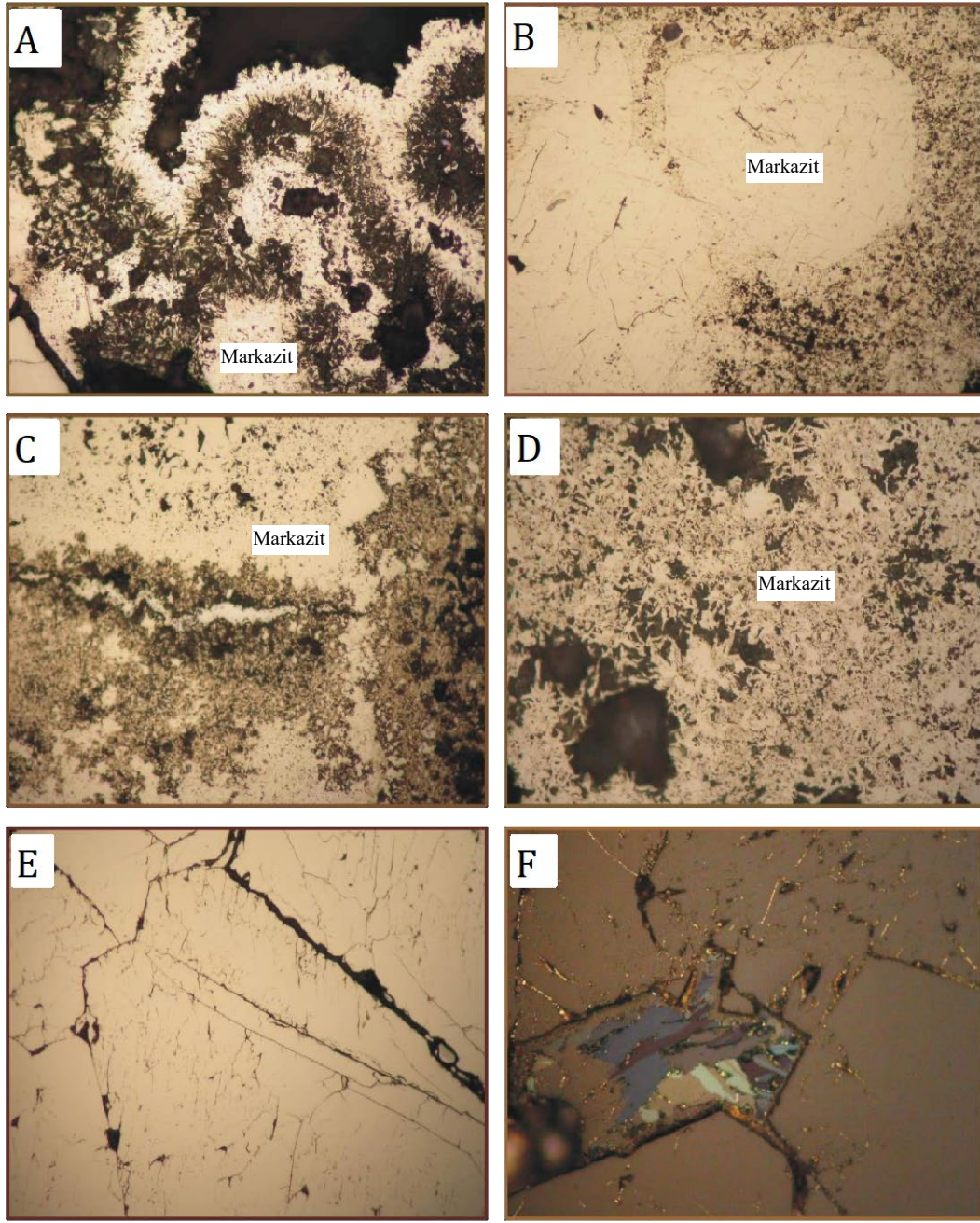
İnce kesitlerde, jips, anhidrit minerallerinin gözlenmesi beklenirken, ince kesit yapım aşamasında su ile çalışıldığından dolayı bu minerallerin tanımlanmasında zorluk çekilmiş ve doğrulukları XRD paternleri ile pekiştirilmiştir (Şekil 11 D, F)

Sölestin mineralleri yarı özşekilli, özşekilsiz, 100 µm ile 5-8 cm arasında değişen boyutlarda olup mavimsi-gri-beyaz renkli, birbirleriyle keskin ve girintili çıkıntılı sınırlıdır (Şekil 14). Bazı kristallerde iki yönlü dilinimler gözlenmiştir.

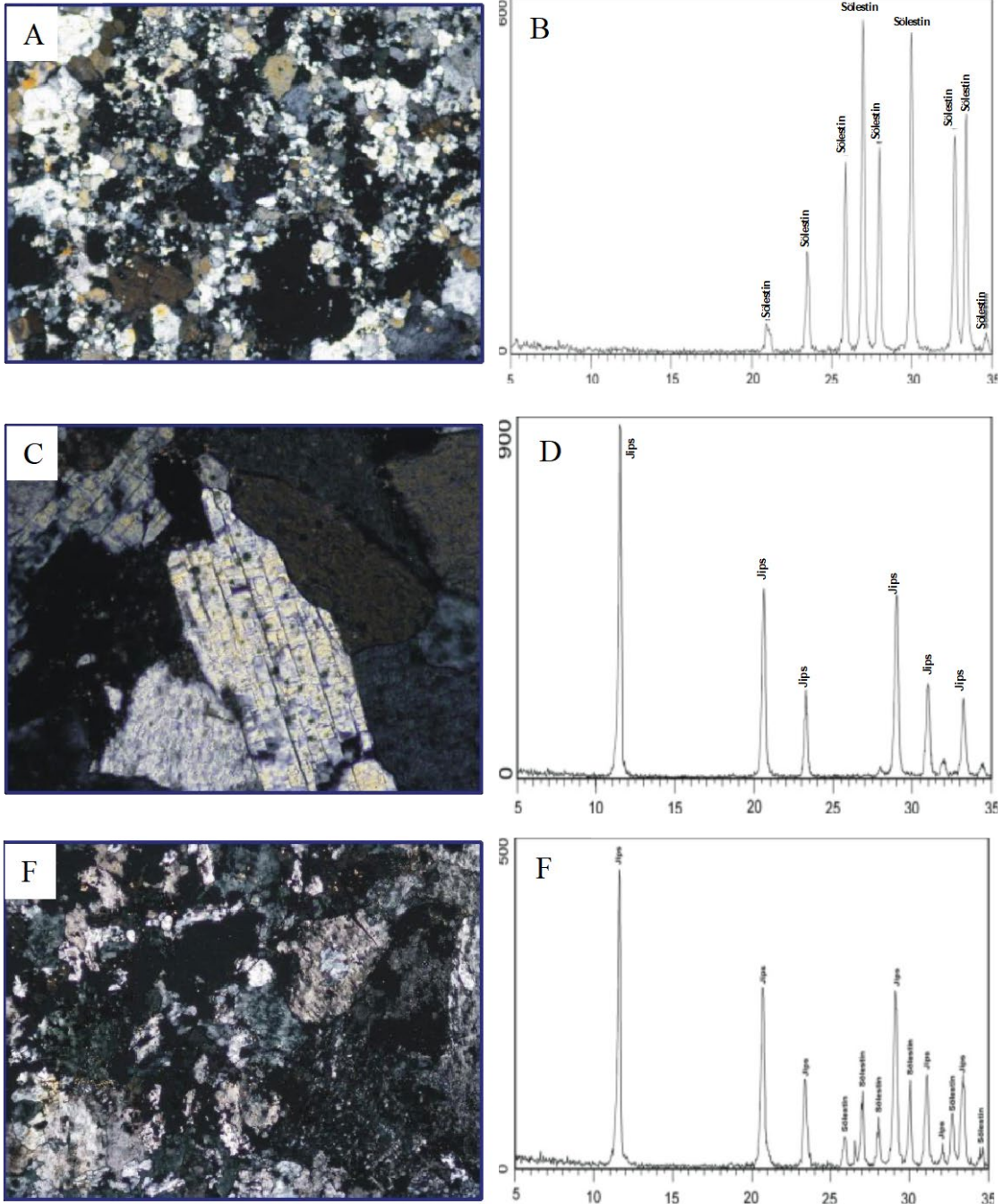
Gerek makro gerekse mikro sölestin kristallerinin kenarlarında pirit markazit gibi sülfür minerallerinin varlığı optik mikroskopi ile tespit edilmiştir. Bazı sölestin kristalleri kahverengimsi ve ince taneli killeşmeyi işaret etmektedir.

Sölestinler el örneğinde şeffaf, özşekilli/özşekilsiz, genellikle boşluk dolgusu şeklinde gelişmiş jipsler tarafından kuşatılmıştır.

Sölestin minerallerinin ince kesit tanımlamaları sırasında çok sayıda birincil ve ikincil sıvı kapanım içerdiği gözlenmiştir. XRD paternlerinde de sölestinler saf olarak ve jips ile birlikte pikler vermişlerdir.



Şekil 10. A-Kolloform yapı gösteren markazitlerin mikro fotoğrafı. Örnek No: M18-10, Tek Nikol, Büyütme 20X. B-Markazitlerin çevresinde yer alan jel piritlerin mikro fotoğraf görünümü. Örnek No: M18-10, Tek Nikol, Büyütme 5X. C-Markazitlerin çevresinde yer alan jel piritlerin mikro fotoğraf görünümü. Örnek No: M18-10, Tek Nikol, Büyütme 20X. D-Boşluklarda gelişen markazit çubuklarının mikro fotoğraf görünümü. Örnek No: M18-10, Tek Nikol, Büyütme 50X. E-Çubuk şeklindeki markazitlerin bir arada görünümü. Örnek No: M18-10, Tek Nikol, Büyütme 20X. F-Markazitlerde gözlenen morumsu mavi, yeşil-sarı anizotropi. Örnek No: M18-10, Çift Nikol, Büyütme 20X (Şahin, 2006'dan)



Şekil 11. A- Küçük boyutlu sölestin kristallerinin mikro fotoğrafı. Örnek No: M8-4, Çift Nikol, Büyütme 5X. B- M15-3 numaralı saf sölestinin X-ışınları difraktogramı. C- Özşekilli, sölestin mineralinin belirgin dilinimlerin gözleendiği mikro fotoğrafı. Örnek No: M8-4, Çift Nikol, Büyütme 20X. D- M12-1 numaralı saf jipsin X-ışınları difraktogramı. E- Özşekilsiz sölestin minerallerinin mikro fotoğrafı. Örnek No: M16-4, Çift Nikol, Büyütme 5X. F- M10-6 numaralı jipsli sölestinin X-ışınları difraktogramı (Şahin, 2006'dan).

ÇALIŞMA ALANINDAKİ KAYAÇLARIN İZOTOP JEKİMYASI

Bu çalışma kapsamında on adet sölestin, 4 adet jips ve 1 adet anhidrit örneğinde $\delta^{34}\text{S}$ analizleri, 10 adet sölestin ve 3 adet jips örneğinde δD , ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop analizleri yapılmıştır. Radyojenik izotop olan $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analizi ise 5 adet sölestin, 4 adet jips ve 1 adet anhidrit örneğinde yapılmıştır (Şahin, 2006).

Kükürt İzotop Analizi

$\delta^{34}\text{S}$ analiz sonuçları topluca Tablo 1’de verilmiştir. Akkaya sölestin yatağı, sölestin ve yan kayaçlarından elde edilen $\delta^{34}\text{S}$ izotop değerleri 22.9 ‰ ile 30.6 ‰ arasında değişmektedir. Elde edilen bu değerlere göre Akkaya sölestin yatağına ait jips, sölestin ve anhidritler evaporitik sülfat alanına düşmektedir (Şekil 12).

0 ‰’ a yakın ve çok dar bir aralıkta olan $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin magmatik kayaçlara ait olduğu, sedimanter kayaçlara ait $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin çok geniş bir aralıkta dağılım gösterdiği, -20 ‰ +20 ‰ arasında değişen $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin metamorfik kayaçlara ait olduğu ve okyanus suyuna ait $\delta^{34}\text{S}$ değerinin 20 ‰ olduğu bilinmektedir (Şekil 12).

Tablo 1. Akkaya sölestin yatağı jips, sölestin ve anhidrit minerallerine ait $\delta^{18}\text{O}$, δD ve $\delta^{34}\text{S}$ değerleri (Şahin, 2006’dan).

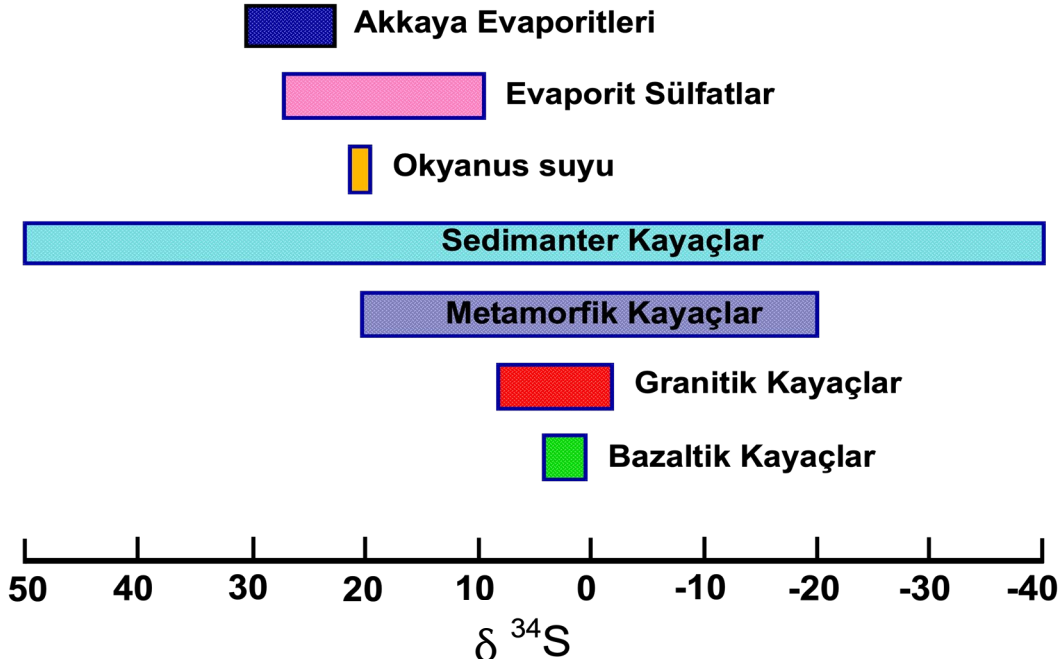
Örnek No	$\delta^{18}\text{O}$ -VSMOW (‰)	δD -VSMOW (‰)	$\delta^{34}\text{S}$ -VCDT (‰)
M3-2 ¹	15,7*	-100	23,0
M18-2 ¹	18,1*	-97	23,0
M23-1 ¹	14,1*	-104	22,9
M18-4 ¹	16,3	n.d	23,0
M3-4 ²	18,1	-117	26,7
M8-4 ²	17,5	-110	23,3
M9-5 ²	16,8	-92	23,3
M11-8 ²	16,2	-111	23,3
M12-6 ²	17,8	-98	30,6
M13-7 ²	16,3	-115	23,3
M15-3 ²	17,5	-97	22,7
M17-4 ²	17,6	-102	22,7
M19-4 ²	16,5	-115	23,3
M20-4 ²	16,8	-88	23,4
M3-3 ³	14,8	n.d	22,9

1: jips, 2: sölestin, 3: anhidrit * jipsin $\delta^{18}\text{O}$ değeri jipsin suyu alındıktan sonra ölçülmüştür.

0 ‰’ a çok yakın $\delta^{34}\text{S}$ değerleri magmatik kökenli kükürtü, -10 ‰’ dan daha hafif $\delta^{34}\text{S}$ değerleri bakteriyel süreçlerle indirgenmiş kükürtü, +10 ‰’ dan daha büyük $\delta^{34}\text{S}$ değerleri deniz suyundan inorganik (\pm organik) olarak indirgenmiş kükürtü göstermektedir.

-10 ‰ ile 0 ‰ arasında ki değerler birkaç farklı durumu yansıtmaktadır (Arehart, 2005). Bu durumlar; magmatik ve bakteriyel kükürt karışımı, magmatik kükürt içeren hidrotermal çözeltilerden kükürtün yüksek Eh ve pH koşullarında ayrılması, magmatik kükürt içeren kaynaklardan hidrotermal çözeltilerce hafif kükürtün tercihli olarak çözülmesi, magmatik kükürtün sülfatlı ve sülfürlü mineraller arasında paylaşımı sonucu sülfürlü minerallerde hafif kükürtün kullanıldığı şeklinde sıralanabilir.

0 ‰ ile +10 ‰ arasındaki $\delta^{34}\text{S}$ değerleri magmatik ve denizel sülfat kökenli kükürt karışımı, denizel sülfatın aşırı indirgenmesi, hidrotermal çözeltilerin ve çevrenin fizikokimyasal koşullarına bağlı olarak magmatik kükürtün ağır kısmının ayrımlanarak kullanımı, denizel sülfat kökenli kükürt içeren kaynaklardan hafif kükürtün tercihli olarak çözülmesi şeklinde yorumlandığı bilinmektedir. Bu değerlendirmelere göre Akkaya sölestin yatağına ait $\delta^{34}\text{S}$ değerleri, deniz suyundan inorganik (\pm organik) reaksiyonlarla indirgenmiş kükürt şeklinde yorumlanabilir.



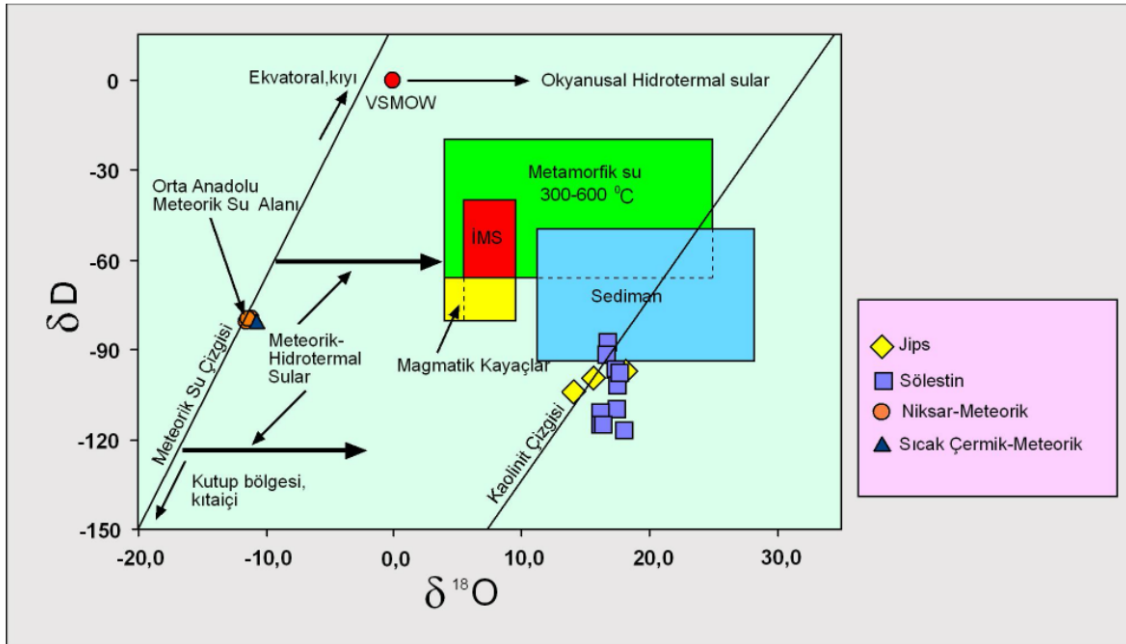
Şekil 12. Akkaya sölestin yatağına ait $\delta^{34}\text{S}$ değerinin, yaygın kayaç gruplarının $\delta^{34}\text{S}$ dağılımları ile karşılaştırılması. Kayaç gruplarına ilişkin veriler Hoefs, (2018)'den alınmıştır.

Oksijen-Döteryum İzotop Analizi

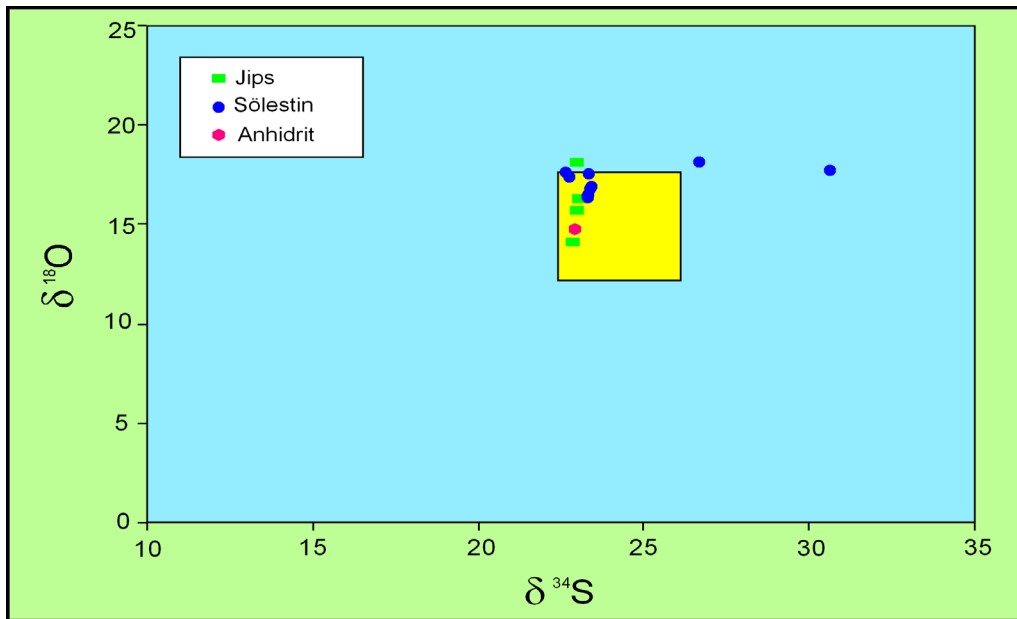
Akkaya sölestin yatağına ait $\delta^{18}\text{O}$ ve δD izotop analizleri 10 adet sölestin ve 3 adet jips mineralleri üzerinde yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Sölestin minerallerine ait $\delta^{18}\text{O}$ değerleri, 16.2 ‰ ile 18.1 ‰ arasında ve δD değerleri, -88 ‰ ile -117 ‰ arasında değişmektedir. Suyundan arındırılmış jips minerallerine ait $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise, 14.1 ‰ ile 18,1 ‰ arasında ve δD değerleri ise -97 ‰ ile -104 ‰ arasında değişim göstermektedir.

İzotop oranları δD - $\delta^{18}\text{O}$ diyagramına (Şekil 13) yerleştirildiğinde jips ve sölestin örneklerinin bir kısmının sedimanter kökenli su alanı içerisine düştüğü ve diğerlerinin de bu alana yakın yerde kümelendikleri görülmektedir. Jips ile sölestinin $\delta^{18}\text{O}$ değerleri arasında azda olsa fark gözlenmektedir. Akkaya sölestin yatağının oluşumunda etkin olan suyun kökeninin büyük oranla sedimanter kökenli olduğu söylenebilir. Ulaş yöresindeki sölestin yataklarında cevherleşmede etkin olan çözeltilerin homojenleşme sıcaklıkları 60-90 °C arasında değişim gösterdiği, başlangıçta H_2O - NaCl - KCl olan çözeltilerine sonradan MgCl_2 ve CaCl_2 'ün dahil olduğu ve tuzluluğun ise 9-16 ‰ ağırlıkça NaCl eşdeğeri olduğu (Ceyhan, 1996; Uçurum ve diğ., 2015; Uçurum ve diğ., 2017, Uçurum ve diğ., 2019) tarafından belirtilmiştir.

Akkaya sölestin yatağına ait jips, sölestin ve anhidrit $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{34}\text{S}$ oranları Palmer ve diğ., (2004) tarafından geliştirilen $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{34}\text{S}$ diyagramına yerleştirildiğinde jips, anhidrit örneklerinin tamamının ve sölestin örneklerinin çoğunluğunun denizel bölgeyi temsil eden kutucuğa düştüğü gözlenmektedir (Şekil 14). Sölestin minerallerinin $\delta^{18}\text{O}$ değerleri, 16.2 ‰ ile 18.1 ‰ arasında değişirken suyundan arındırılmış jips minerallerinde bu değişim 14.1 ‰ ile 18,1 arasındadır (Tablo 1). Akkaya sölestin, jips ve anhidriti içinde bulunduran evaporitlerin $\delta^{34}\text{S}$ izotop değerleri 22.9 ‰ ile 30.6 ‰ arasında değişim göstermektedir. Gerek $\delta^{18}\text{O}$ ve gerekse $\delta^{34}\text{S}$ değerleri genelde okyanus suyunu işaret etmektedir. Buna bağlı olarak evaporit yataklarının oluşumunda, denizel ortamın hakim olduğu görüşü desteklenmektedir.



Şekil 13. Akkaya sölestin yatağı sölestin ve jips örneklerine ait oksijen ve hidrojen izotop değerlerinin $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramında gösterimi. Metamorfik ve iksel magmatik su alanları Taylor, (1997)'den, meteorik su çizgisi ise Craig, (1961)'den Orta Anadolu Meteorik su alanı Uçurum ve diğ., (2007) alınmıştır.



Şekil 14. Akkaya sölestin yatağına ait jips, anhidrit ve sölestinine ait $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin karşılaştırması. Sarı alan denizel bölgeyi göstermektedir (Palmer ve diğ., 2004 den).

Stronsiyum İzotop Analizi

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları 4 adet jips, 1 adet anhidrit ve 5 adet sölestin mineralinde ölçülmüştür. Ölçülen izotop oranları Tablo 2'de topluca gösterilmektedir. Akkaya sölestin yatağına ait jips minerallerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları 0,707646-0707724 arasında değişirken bu oran sölestin minerallerinde 0,707202-0,707391 arasında değişmektedir.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları birçok jeolojik ortamda değişiklik göstermektedir. Ortalama değerler okyanusal ada bazaltlarında 0,7037; bazaltik akondritlerde 0,699; üst manto kayaçlarında 0,701; kıtasal kabuk ta 0,719 ve güncel

deniz suyunda 0,7091 dir (Faure ve Powell, 1972). Deniz suyunun en düşük $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranının Jura döneminde olduğu (0.7067) ve bununda Mesozoyik döneminde volkanik kayaların alterasyonu ile ortama çok fazla oranda Sr girdisi olduğu şeklinde yorumlanmıştır (Faure ve Powell, 1972). Akkaya sölestin yatağına ait evaporit minerallerinde $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarının (0,707646-0707724-jips; 0,707202-0,707391-sölestin) kıtasal kabuğun ortalama değeri olan (0,719) (DePaolo, ve Ingram, 1985; Faure ve Powell, 1972) ve olan okyanusal suyun ortalama değeri olan (0,709) (DePaolo, ve Ingram, 1985; Faure ve Powell, 1972) değerinden düşük ancak üst manto kayalarınınkinden (0,701) (DePaolo, ve Ingram, 1985; Faure ve Powell, 1972) yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu da Sivas Havzasında genelde ve özelde Akkaya sölestin yatağının oluşumunda denizel suyun hakim olduğunu ancak havzaya değişik dönemlerde meteorik ve/veya diğer suların eklenmesi ile Sr izotop oranlarının düşüş gösterdiği şeklinde yorumlanmaktadır. Sivas Havzasındaki Evaporit yataklarının oluşumunda sadece denizel suların etkisinin olmadığı özellikle genç volkanik kayaların (evaporitlerle ara katkılı olarak bulunan volkano sedimanter kayaların, Çiner ve diğ., 2002) bozunması ile denizlere fazladan Sr girdisinin olduğu şeklinde de yorumlanabilir.

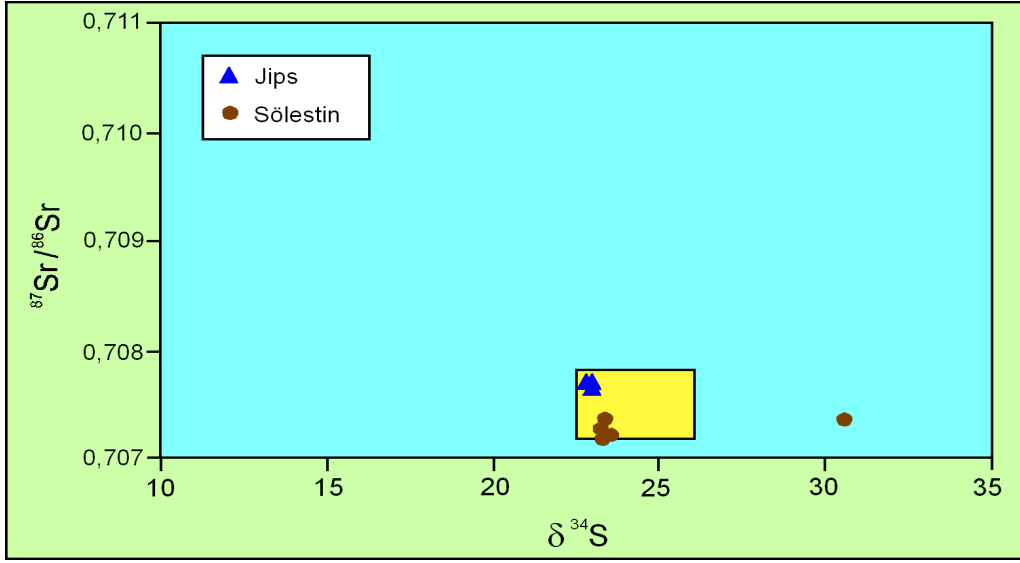
Tablo 2. Akkaya sölestin yatağına ait jips ve sölestin minerallerine ait $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $\delta^{34}\text{S}$ izotop izotop oranları (Şahin, 2006'dan).

Örnek No	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ (‰)
M3-2 ¹	0.707646	23,0
M10-1 ¹	0.707681	-
M18-2 ¹	0.707693	23,0
M23-1 ¹	0.707703	22,9
M8-4 ²	0.707202	23,3
M11-8 ² 1	0.707294	23,3
M12-6 ² 1	0.707333	30,6
M13-7 ²	0.707391	23,3
M20-4 ²	0.707227	23,4
M17-3 ³	0.707724	-

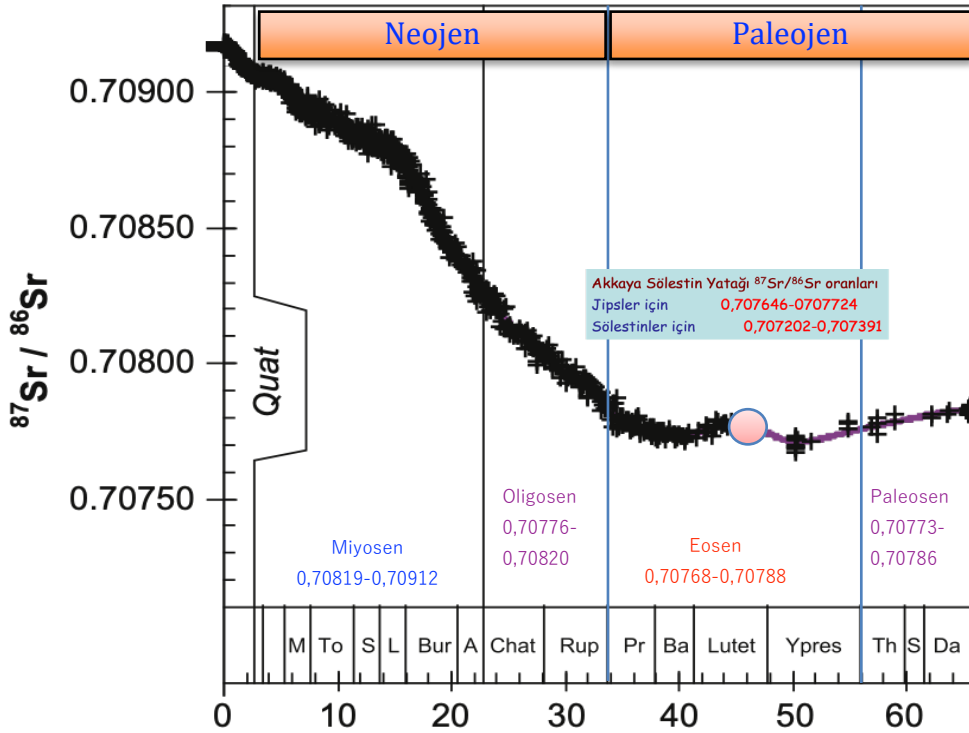
1: jips, 2: sölestin, 3: anhidrit

Akkaya sölestin yatağına ait 3 adet jips ve 5 adet sölestin örneğinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $\delta^{34}\text{S}$ oranları Palmer ve diğ., (2004) tarafından geliştirilen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $\delta^{34}\text{S}$ diyagramına yerleştirildiğinde, jips örneklerinin tamamının sölestin örneklerinin çoğunun denizel bölgeyi temsil eden kutucuğa düştüğü gözlenmektedir (Şekil 15). Ancak bir tanesi kutucuğun dışına düşmüştür, bu örneğin S izotopunun ikincil, muhtemelen hidrotermal ve yeniden çözünüp-çökme süreçleri ile ağır S izotopunca zenginleşmiş olabileceği düşünülmektedir.

Sölestin örneklerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarının jipslerden düşük olması ve iki sölestin mineralinin yüksek $\delta^{34}\text{S}$ değere sahip olması, tabakalar arası suyun veya havzaya gelen tuzlu suların jips ile reaksiyona girerek sölestinini oluşturduğuna işaret edebilir şekilde yorumlanabilir (Helvacı ve Firman, 1976). Sr izotopunun sölestinlerde düşük olması, çalışma alanının dışında Sivas Havzasında evaporitlerle arakatlı şekilde bulunan volkanoklastik sedimanter kayalarla (Çiner ve diğ., 2002) izotop değişimine uğradığını göstermesi açısından önemlidir. Bu bağlamda Akkaya sölestin yatağının oluşumunda etkin olan ortamın büyük çoğunlukla denizel olduğu ortaya çıkmaktadır. İki sölestin örneğinin denizel bölgenin dışına düşmesi ağır $\delta^{34}\text{S}$ değerlerin ortama deniz suyu dışında giriş yapan meteorik ve/veya tuzlu suların içindeki çözülmüş kükürtün kısmen sülfüre indirgemesini işaret etmektedir (Palmer ve diğ., 2004). Benzer durum sölestin içinde ağır $\delta^{34}\text{S}$ değerleri KD İspanya'da ki Eosen yaşlı sölestin çimentosu içinde de rapor edilmiştir (Taberner ve diğ., 2002) Akkaya sölestinlerinin Sr izotop oranları Senozoyik deniz suyununki ile karşılaştırıldığında (Şekil 16), Eosen döneminin Sr izotop oranları ile uyumluluk gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 15. Akkaya sölestin yatağına ait jips ve sölestin örneklerine ait $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin karşılaştırmasını gösterir diyagram (Palmer ve diğ., 2004'den).



Şekil 16. Akkaya sölestin yatağına ait jips ve sölestin örneklerine ait $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarının deniz suyunun son 66 Myr dağılımı ile karşılaştırılması (McArthur ve diğ, 2012'den değiştirilerek).

SONUÇLAR

Akkaya sölestin yatağı, büyük ocakta KD-GB yönelimi sergilemektedir. Büyük ocağın batısında sölestinin kalınlığı 3-10 m arasında değişmektedir. Sölestin saf ve jipsli olarak gözlenmektedir.

Akkaya sölestin yatağı, sölestin ve yan kayalarından elde edilen $\delta^{34}\text{S}$ izotop değerleri 22.9 ‰ ile 30.6 ‰ arasında değişmektedir. Elde edilen bu değerlere göre Akkaya sölestin yatağına ait jips, sölestin ve anhidritler evaporitik sülfat alanına düşmektedir ve deniz suyundan inorganik (\pm organik) reaksiyonlarla indirgenmiş kükürt şeklinde yorumlanabilir.

Akkaya sölestin minerallerine ait $\delta^{18}\text{O}$ değerlerini, 16.2 ‰ ile 18.1 ‰ arasında ve δD değerlerini, -88 ‰ ile -117 ‰ değerleri arasında değişmektedir. Suyundan arındırılmış jips minerallerine ait $\delta^{18}\text{O}$ değerler ise, 14.1 ‰ ile 18,1 ‰ arasında ve δD değerleri ise -97 ‰ ile -104 ‰ arasında değişim göstermektedir.

Akkaya sölestin yatağının oluşumunda etkin olan suyun kökeninin büyük oranla sedimanter kökenli olduğu söylenebilir.

Akkaya sölestin yatağına ait sölestin, jips, anhidritin gerek $\delta^{18}\text{O}$ ve gerekse $\delta^{34}\text{S}$ verileri denizel kökeni işaret etmektedir.

Akkaya sölestin yatağına ait jips minerallerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları 0,707646-0,707724 arasında değişirken bu oran sölestin minerallerinde 0,707202-0,707391 arasındadır.

Akkaya sölestin yatağına ait evaporit minerallerinde $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarının (0,707646-0707724-jips; 0,707202-0,707391-sölestin) kıtasal kabuğun ortalama değeri olan 0,719 ve olan okyanusal suyun ortalama değeri olan 0,7091 değerinden düşük ancak üst manto kayalarından (0,701) yüksek olduğu gözlenmektedir. Buna bağlı olarak Sivas Havzasında genelde ve özelde Akkaya sölestin yatağının oluşumunda denizel suyun hakim olduğu ancak havzaya değişik dönemlerde meteorik ve/veya diğer suların eklenmesi ile Sr izotop oranlarının düşüş gösterdiği şeklinde yorumlanmaktadır. Sivas Havzasındaki Evaporit yataklarının oluşumunda sadece denizel suların etkisinin olmadığı özellikle evaporitlerle ara katkılı olarak bulunan volkano-sedimanter kayaların bozunması ile denizlere fazladan Sr girdisinin olduğu şeklinde yorumlanabilir. Akkaya sölestinlerinin Sr izotop oranları Senozoyik deniz suyununki ile karşılaştırıldığında Eosen döneminin Sr izotop oranları ile uyumluluk gösterdiği gözlemlenmiştir.

KATKI BELİRTME

Sr analizlerinin yapılmasındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Dr. h. c. Muharrem SATIR'a, Dr. Wolfgang SIEBEL'e ve Elmar REİTER'e, (Eberhard Karls Universität Tübingen, Almanya), Duraylı izotop analizlerin yapılmasında katkılarından dolayı Dr. Greg B. Arehart Dr. Simon R. POULSON ve Crish SLADEK'e (Nevada Duraylı İzotop laboratuvarı, Reno NV, ABD), teşekkür ederiz. Finalsal destek CÜBAP Komisyonunun M-267 nolu projesi ile sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Arehart, G.B., 2005, Short Course in Isotope Geochemistry: University of Nevada Reno-Cumhuriyet University-TUBITAK, Sivas, 66 pp.

Artan, Ü., ve Setsini, G. (1971) Sivas-Zara-Beypınarı bölgesinin jeolojisi. M. T. A. Bull., v. 76, p. 80-97.

Bayhan, H., ve Baysal, O. (1981). Güneş-Soğucak (Divriği-Sivas) yöresindeki sülfür cevherleşmesinin mineralojik ve genetik incelemesi. H. Ü. Yerbilimleri Der. C. 8, s. 41-52.

Brindley, G.W., 1980, Quantitative X-ray mineral analysis of clays. In: Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification (Eds. by G. W. Brindley and G. Brown), Mineralogical Society, London, pp. 411-438.

Cater, J., Hanna, S., Ries, A., & Turner, P. (1991). Tertiary evolution of the Sivas Basin, central Turkey. Tectonophysics, 195(1), 29-46.

Ceyhan, F. (1996). Sivas Çevresindeki Sölestin Yataklarının Jeolojisi, Oluşumu ve Kökeni: C.Ü. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, 223 sayfa (yayımlanmamış).

Craig, H., (1961) Isotopic variations in meteoric waters. *Science* v. 133, p, 1702-1703.

Çiner, A., Kosun, E., Deynoux, M. (2002). Fluvial, evaporitic and shallow-marine facies architecture, depositional evolution and cyclicity in the Sivas Basin (Lower to Middle Miocene), Central Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 147-165.

DePaolo, D.J., and Ingram, B.L. 1985. High-resolution stratigraphy with strontium isotopes. *Science*, **227**: 938–942. doi:10.1126/science.227.4689.938.

Faure, G., Powell, J.L., 1972, *Strontium Isotope Geology*: Springer-Verlag, 199 pp, Berlin.

Giesmen, A., Jager, H. J., Norman, A. L., Krouse, H. R., and Brand, W. A., 1994, On-Line Sulfur Isotope Determination Using an Elemental Analyzer Coupled to a Mass Spectrometer, *Anal. Chem.* 66, 2816-2819.

Guezou, J.-C., Temiz, H., Poisson, A., & Gürsoy, H. (1996). Tectonics of the Sivas basin: The Neogene record of the Anatolian accretion along the inner Tauric suture. *International Geology Review*, 38(10), 901–925.

Gündoğan, I., Önal, M., & Depçi, T. (2005). Sedimentology, petrography and diagenesis of Eocene–Oligocene evaporites: The Tuzhisar formation, SW Sivas Basin, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25(5), 791–803.

Görür, N., Tüysüz, O., Celal Şengör, A. (1998). Tectonic evolution of the central Anatolian basins. *Int. Geol. Rev.* 40, 831–850.

Helvacı, C., Firman, R., J. (1976). Geological setting and mineralogy of Emet borate deposits, Turkey. *Applied Earth Sciences*. Extract from Transactions/Sections B of the Inst. Of Mining and Metallurgy. Vol. 85, p. 141-152.

Hoefs, J. (2018). *Stable Isotope Geochemistry*: 8th Edition, Springer, 437pp.

Kergaravat, C., Ribes, C., Legeay, E., Callot, J. P., Kavak, K. S., & Ringenbach, J. C. (2016). Minibasins and salt canopy in foreland fold-and-thrust belts: The central Sivas Basin, Turkey. *Tectonics*, 35(6), 1342–1366.

Kergaravat, C., Ribes, C., Callot, J. P., & Ringenbach, J. C. (2017). Tectono-stratigraphic evolution of salt-controlled minibasins in a fold and thrust belt, the Oligo-Miocene central Sivas Basin. *Journal of Structural Geology*, 102, 75–97.

Kurtman, F. (1973). Sivas- Hafik- Zara ve İmranlı bölgesinin jeolojik ve tektonik yapısı. *M.T.A. Dergisi*, s. 80, s. 10-32, Ankara.

Legeay, E., Pichat, A., Kergaravat, C., Ribes, C., Callot, J-P., Ringenbach, J-C., Bonnel, C., Hoareau G., Poisson, A., Mohn, P., Crumeyrolle, P., Kavak, K.Ş., & Temiz, H. (2018). Geology of the Central Sivas Basin (Turkey), *Journal of Maps*, DOI: 10.1080/17445647.2018.151453

McArthur, J.M., Howarth, R.J., Shields, G.A. (2012). *Strontium Isotope Stratigraphy: The Geologic Time Scale 2012*, Felix M. Gradstein, James G. Ogg, Mark D. Schmitz, Gabi M. Ogg (editors), Elsevier, Chapter 7, p. 127-144.

Okay, A., Tüysüz, O., Satır, M., Özkan-Altiner, S., Altiner, D., Sherlock, S., Eren, R. (2006). Cretaceous and Triassic subduction-accretion, high-pressure–low-temperature metamorphism, and continental growth in the Central Pontides, Turkey. *Geol. Soc. Am. Bull.* 118, 1247–1269.

Önal, K.M., Buyuksarac, A., Aydemir, A., Ates, A., 2008, Investigation of the deep structure of the Sivas Basin (innereast Anatolia, Turkey) with geophysical methods. *Tectonophysics* 460, 186–197.

Özcan, E., Less, G., Baydoğan, E. (2009). Regional implications of biometric analysis of Lower Miocene larger foraminifera from central Turkey. *Micropaleontology* 55, 559–588.

Özçelik, O., & Altunsoy, M. (1996). Clastic petrofacies, provenance and organic facies of the Bozbel Formation (Lutetian) in the Eastern Sivas Basin (Turkey). *Marine and Petroleum Geology*, 13(5), 493–501.

Palmer, M. R., Helvacı, C., Anthony, E. Fallick (2004). Sulphur, sulphate oxygen and strontium isotope composition of Cenozoic Turkish evaporites. *Chemical Geology* 209, 341-356.

Poisson, A., Guezou, J.C., Ozturk, A., Inan, S., Temiz, H., Gursoy, H., Kavak, K.S., Ozden, S., (1996) Tectonic Setting and Evolution of the Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey: *International Geology Review*, 38, p. 838-8853.

Poisson, A., Orszag-sperber, F., Temiz, H. (2010). DARIUS Annual Report 2010 – Proposal N ° WD 09-11 Stratigraphy and Polyphased Tectonic Evolution of the Sivas Basin (Central Anatolia, Turkey). pp. 1–48.

Poisson, A., Vrielynck, B., Wernli, R., Negri, A., Bassetti, M.- A., Büyükmeriç, Y., ... Temiz, H., (2016). Miocene transgression in the central and eastern parts of the Sivas Basin (Central Anatolia, Turkey) and the Cenozoic palaeogeographical evolution. *International Journal of Earth Sciences*, 105(1), 339–368.

Ramdohr, P. (1982) *The Ore Minerals and Their Intergrowths*, 2nd English edition from 4th German edition, VI+VII, Pergamon Press, Germany, 1207 pp.

Ribes, C., Kergaravat, C., Bonnel, C., Crumeyrolle, P., Callot, J. P., Poisson, A., ... Ringenbach, J. C. (2015). Fluvial sedimentation in a salt-controlled mini-basin: Stratal patterns and facies assemblages, Sivas Basin, Turkey. *Sedimentology*, 62(6), 1513–1545.

Ribes, C., Lopez, M., Kergaravat, C., Crumeyrolle, P., Poisson, A., Callot, J. P., ... Ringenbach, J. C. (2018). Facies partitioning and stratal pattern in salt-controlled marine to continental mini-basins: Examples from the Late Oligocene to Early Miocene of the Sivas Basin, Turkey. *Marine and Petroleum Geology*, 93, 468–496.

Reuter, H.I., Nelson, A., Jarvis, A. (2007). An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data, *International Journal of Geographical Information Science*, 21:9, 983-1008.

Sharp, Z. D., 1990, A laser-based microanalytical method for the in situ determination of oxygen isotope ratios of silicates and oxides. *Geochim Cosmochim Acta* 54, p. 1353-1357.

Sharp Z. D., Atudorei V., and Durakiewicz, T., 2001, A rapid method for determination of hydrogen and oxygen isotope ratios from water and hydrous minerals. *Chemical geology* p. 178.

Sirel, E., Ozgen Erdem, N., & Kangal, O. (2013). Systematics and biostratigraphy of Oligocene (Rupelian-Early Chattian) foraminifera from lagoonal-very shallow water limestone in the eastern Sivas Basin (central Turkey). *Geologia Croatica*, 66(2), 83–110.

Steel, R.R.R. (1998) Architecture of marine rift-basin successions. *AAPG Bull.* 82, 110–146

Şahin, Ç. (2006). Akkaya (Ulaş-Sivas) Sölestin Yatağının Jeolojik ve Jeokimyasal İncelemesi. C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82p (Yayımlanmamış).

Şengör, A., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75 (3), 181–241.

Taberner, C., Marshall, J. D., Hendry, J. P., Pierre, C., Thirlwall, M.F. (2002) Celestite formation, bacterial sulphate reduction and carbonate cementation of Eocene reefs and basinal sediments (Igalada, NE Spain). *Sedimentology* 49, 171-190.

Taylor, J.r., H. P. (1997). Oxygen and Hydrogen Isotope Relationships in Hydrothermal Mineral Deposits, *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposit*, 3rd Edition ed. Barnes, H.L. John Wiley & Sons, New York, p. 229-302.

Tekeli, O., Varol, B., Gökten, E., Kesgin, Y., Özaksoy, V., ve Işık, V. (1992). Sivas havzasının batı kesiminin (Tuzla Gölü- Tecer Dağı arasının) jeolojisi. TPAO Rapor no. 3173, (yayınlanmamış), Ankara.

Tekin, E. (2001). Stratigraphy, Geochemistry and Depositional Enviroment of the Celestine-bearing Gypsiferous Formations of the Tertiary Ulaş-Sivas Basin, East-Central Anatolia (Turkey). Turkish Journal of Earth Sciences, v. 10, p. 35-49.

Tunç, M., Özçelik O., Tutkun, Z., ve Gökçe, A. (1991). Divriği-Yakuplu-İliç-Hamo (Sivas) yöresinin temel jeoloji özellikleri. Doğa, Tr. J. Of Eng. And Envi. Scie. V. 15, p. 225-245.

Ucurum A., Lechler, P.J., Arehart, G.B., Molnar, F. (2007). Platinum-Group Element, Stable Isotope, and Fluid Inclusion Investigation of the Ultramafic Rock-Hosted Gunes-Sogucak Ni-Cu-Sulfide Mineralization, Gunes Ophiolite, East-Central Turkey: International Geology Review: V.49, no: 2, p. 169-192.

Ucurum A., Sahin Demir C., Arehart, G.B., Pernicka E., Molnár F., Ronald J. Bakker (2015). Geochemistry ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$, δD), Fluid Inclusion and Raman Micro-Spectroscopy of Celestine Deposits from the Evaporitic Sarkışla-Celalli Sub-Basin in the Tertiary Sivas Basin, Turkey: European Current Research on Fluid Inclusions (ECROFI-XXIII), Leeds - UK, 27 - 29 June, 2015, Extended Abstracts' Volume.

Ucurum, A., Sahin Demir C., Efe, A., Hofstra, A. H., Arehart, G.B., Pernicka, E., Molnar, F., Bakker, R.J. (2017). Sr, S, O, and H Isotopic Compositions of Celestine Deposits from the Tertiary Sivas Basin, Turkey: SEG-2017, September 17-20, 2017, Beijing , China, Abstract.

Uçurum, A., Şahin Demir, Ç., Hofstra, A. (2109). Evaporitik Şarkışla-Celalli Alt Havzası (tersiyer Sivas Hanzası) Sölestin Yataklarının Döteryum izotop Oranlarının Belirlenmesi.: CÜBAP Proje No: M-646, 43 pp.

Yalınız, M. K., Göncüoğlu, M. C., & Oezkan-Altiner, S. (2000) Formation and emplacement ages of the SSZ-type Neotethyan ophiolites in Central Anatolia, Turkey: Palaeotectonic implications. Geological Journal, 35(2), 53– 68.

Yılmaz ve Yılmaz. (2006). Characteristic features and structural evolution of a post collisional basin: The Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey. J. Asian Erath Sci., v.27, p. 164-176



Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 26.06.2019
Kabul Tarihi : 19.07.2019

Received Date : 26.06.2019
Accepted Date : 19.07.2019

NON-DISPERSIVE INFRARED CO₂ SENSÖRÜ KULLANILARAK İÇ ORTAM CO₂ DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ: ŞANLIURFA ÖRNEĞİ

DETERMINATION OF INDOOR CO₂ LEVELS USING NON-DISPERSIVE INFRARED CO₂ SENSOR: CASE OF ŞANLIURFA

Hatice ÖZDEŞ¹ (ORCID: 0000-0002-5517-5348)

Nihan UYGUR^{1*} (ORCID: 0000-0003-3356-9407)

¹ Kahramanmaraş Sutcu Imam Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Nihan UYGUR, nuygur@ksu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde insanların zamanlarının çoğunu iç ortamlarda geçirmeleri sebebiyle bu kirleticilere maruz kalma olasılıkları fazladır. İç ortam hava kalitesinin yetersizliği bireylerin çalışma verimlerini düşürebildiği gibi çeşitli sağlık sorunlarına da sebep olabilmektedir. İç ortam hava kirleticileri oranı binaya, yaşanan bölgeye ve iklimsel dönemlere göre değişim göstermektedir. Kirletici kaynakları olarak partikül madde, uçucu organik bileşikler, biyoaerosoller gibi çeşitli iç hava kirleticileri öne çıkmakta, kirleticiler ile solunum yolu semptomları ve hastalıkları arasında ilişki bulunduğu bildirilmekte, bunlar arasından astım, alerji ve enfeksiyonlar öne çıkmaktadır. Geçici semptomlardan kronik hastalıklara kadar geniş bir ölçekte sağlık etkenlerinin oluşturduğu iç ortam hava koşulları değerlendirilmiştir. Ülkemizde kapalı ortam hava kalitesi ve sağlık ile ilgili yapılan sınırlı sayıda çalışmaları derlenmiş ve sorun ile ilgili durum ortaya konularak, yapılması gereken ilave çalışmalar ve hava kalitesinin iyileştirilmesi için öneriler ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada, farklı iç ortamlarda tasarladığımız karbondioksit ölçüm cihazı kullanılarak iç ortamlarda karbondioksit düzeyleri analiz edilmiştir. Farklı koşullarda bulunan 10 ölçüm noktası belirlenerek karbondioksit oranları belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İç ortam hava kalitesi, karbondioksit düzeyleri, karbondioksit ölçüm cihazı, sağlık etkileri

ABSTRACT

Today, people are more likely to be exposed to these pollutants because they spend most of their time indoors. Inadequate indoor air quality can decrease the working efficiency of individuals and cause various health problems. The rate of indoor air pollutants varies according to the building, the region and the climatic periods. Various sources of pollutants such as particulate matter, volatile organic compounds, bioaerosols, and airborne pollutants are reported to be associated with asthma, allergies and infections. Indoor weather conditions caused by health factors on a large scale from transient symptoms to chronic diseases were evaluated. A limited number of studies on indoor air quality and health in our country have been compiled and the situation related to the problem has been put forward, and additional studies and recommendations for improvement of air quality have been put forward.

In this study, carbon dioxide levels were analyzed by using carbon dioxide measuring device developed by us in different indoor environments. Carbon dioxide ratios were determined and compared by determining 10 measurement points under different conditions.

Keywords: Indoor air quality, carbon dioxide levels, carbon dioxide measuring device, health effects

GİRİŞ

İç ortam havası; ev, işyeri, hastane, alışveriş merkezi, otel ve okul gibi binalar içinde bulunmakta olan hava olarak ifade edilebilir. İç ortamda oluşan hava kirliliği ise, sözü geçen iç ortamlarda insan ve hayvan sağlığına zararlı ve

solunabilir (toz, gaz, buhar) maddelerin görülmesi olayıdır. Bu maddelerin konsantrasyon miktarı ve çeşitliliği ise, ortamın karakteristiğine, ortamda bulunan malzemelere, içinde yaşayan bireylerin sayısına ve yaşına, sıcaklığa, ortamın havalandırma veya ısıtma sistemlerine göre çok farklılık göstermektedir. Bu değişkenlikler ise başta sağlık sorunları olmak üzere birçok problemi beraberinde getirmektedir.

Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın iç hava kalitesi raporunda; "İç ortam hava kirleticilerinin sağlığa etkileri, maruziyetten hemen sonra (akut) veya uzun süre (yıl bazında) sonra (kronik) ortaya çıkma şeklinde gözlemlenebilir. Akut sağlık etkileri, tek bir maruz kalmadan kısa bir süre sonra veya bir kirleticiye tekrar tekrar maruz kalınma neticesinde ortaya çıkabilir. Bu sağlık etkileri; gözler, burun ve boğazda tahriş, baş ağrısı, baş dönmesi ve yorgunluk olarak sıralanabilir. Bu tür acil etkiler genellikle kısa vadeli ve tedavi edilebilir. Özellikle kaynak tespiti yapılabilirse, kişinin maruziyetten hemen sonraki tedavisini yapmak daha kolay olabilmektedir. Kişilerin iç ortam kirleticilerine verdikleri tepkiler, kişilerin yaşları, maruz kalınan maddenin konsantrasyonu gibi çeşitli faktörlere de bağlıdır.

Kronik etkiler maruziyetten yıllar sonra ortaya çıkabilir, bazı solunum yolu hastalıkları, kalp hastalıkları ve kanseri içeren bu etkiler ciddi derecede zayıflatıcı veya ölümcül olabilir. İç mekân havasında yaygın olarak bulunan kirleticiler birçok zararlı etkiye neden olabilirken, belirli sağlık sorunlarının ortaya çıkması için hangi maruz kalma konsantrasyonlarının veya periyotlarının gerekli olduğu konusunda büyük belirsizlik vardır (EPA, 2018).

Öte yandan insanların içinde buldukları havayla ilgili farklı beklentiler içinde olmaları ve bu konuda algılarının da farklılık göstermesi temel alınarak iç hava kalitesi için kesin sınırlar çizmek veya tanımlamak zordur. Bundan dolayı, dünya da iç ortam havası düzenlemelerine ilişkin "kabul edilebilir iç hava kalitesi" terimi ortaya çıkmıştır. (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning) ASHRAE 62-1989, 2001 ve 2004 Standardında kabul edilebilir iç hava kalitesi "İçinde, bilinen kirleticilerin, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranın havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir "memnuniyetsizlik hissetmediği havadır" olarak açıklanmaktadır (Bulut, 2007).

İç ortam hava kalitesi insanların çalışma performansları üzerinde etkili bir parametredir. Örneğin insanların sağlıklı bir ortamda konforu ve üretkenliği için solunan havanın %30-50 oranında nem içermesi ve çalışma ortamının 19-20°C 'de olması gerekmektedir gibi bir gerçeklik vardır (TMMOB, 2015).Yine yapıların içinde oluşan veya oluşması muhtemel hava kirliliğini önlemek için etkili bir havalandırma çok önemli olmaktadır. Havalandırma yapma, sistemlerin kullanımıyla veya doğal havalandırma ilkeleri doğrultusunda gerçekleştirildiği, mekanik hava düzenleme sistemlerinin enerji tüketiminin doğal havalandırma sistemlerine göre daha fazla olduğu, düzenli olarak bakım ve onarım gerektirir. Sistemlerde tasarım, uygulama ve bakım-onarım hatalarının olmasının insan sağlığını bozduğu, yapıların doğal havalandırma ilkeleri göz önüne alınarak tasarlandığı durumda insan için konfor düzeyi yüksek, enerji tüketimi ve maliyeti düşük yapılar üretebildiği belirtilmiştir (Altun, 2015).

Tarihsel süreçte, iç ortam hava kalitesi araştırmalarında; hasta bina sendromu kavramı 1890'li yıllarda, petrol krizi ve enerji temini sıkıntısının da gündeme gelmesiyle birlikte literatürde yer almaya başlamıştır. İç ortam hava kalitesinin ölçüsü olarak, taze hava miktarı veya hava değişimi katsayısı kullanılmaktadır. Bu ölçütler iç ortamdaki kirlilik kaynaklarından bağımsız olduklarından çok nitelikli bilgi sağlamazlar. Kirlilik unsurlarının güçlü olması halinde, yüksek havalandırma miktarları uygulanan bir alan yine kirli olabilir. Öte taraftan kirlilik kaynaklarının zayıf olduğu alanlarda ise basit bir havalandırma yöntemi ile yüksek bir hava kalitesi elde edilebilir (Çilingiroğlu, 2010).

Hali hazırda günümüz enerji maliyetleri yapılarda enerjinin korunması ve ısı yalıtımı konusunu ön plana çıkarmıştır. Binaların iç ve dış duvarlarında yapılan ısı yalıtımı düzenlemeleri, binanın içi ve dışı arasında hava sirkülasyonu azaltmış, dolayısıyla bunun sonucu olarak iç ortamlarda hava kirliliği sorunu ortaya çıkmıştır. Havada bulunan her partikül ve kimyasalın belirli bir sınır değeri altında olup olmadığını belirlemek oldukça zordur. Sınır değerleri ise, bazı kimyasallarda tek başına ortaya çıkmaları durumunda saptanabilir. Bina içinde olmak yani iç ortamdaki kirleticilere maruz kalmak, dış ortamdaki kirleticilere oranla sağlık açısından daha fazla risk taşımaktadır. Bunun sebebi insanların zamanlarının neredeyse tamamını kapalı mekânlarda geçirmeleridir. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA), insanların kapalı alanlarda açık alanlara oranla 2-5 kat daha fazla zararlı bileşiklere maruz kaldığını açıklamıştır. Kapalı ortamlarda hava kirliliğinin olumsuz etkileri genellikle uzun sürede ortaya çıkar. Bu etkiler insan sağlığını doğrudan tehdit etmediği için gereken önem verilmemektedir (EPA, 2018).

İç ortam hava kalitesi birçok faktörden etkilendiği gibi bunların etkileşimlerinden de etkilenmektedir. Bundan dolayı bina içindeki hava kalitesini, dış ortam havası, bina yapımında kullanılan yapı malzemeleri, bina içindeki mobilya ve ekipmanlar, kullanıcılar, elektrik manyetik alanları ve havalandırma sistemleri etkilemektedir. Bina içindeki hava kalitesini etkileyen faktörlerin başında iklimlendirme ve havalandırma sistemleri yer almaktadır. İklimlendirme ve havalandırma, yapılarda ortalama düzeyde iç ortam havasının sağlanmasında büyük rol oynamaktadır. İç ortamlardaki hava hareketleri ısı konfor ve hava kalitesi açısından önem kazanmaktadır (Çilingiroğlu, 2010).

İç Hava Kalitesi Parametreleri

• İç Sıcaklık ve Nem

Kapalı ortamlardaki sıcaklık parametresi, ısı konfor şartlarından en önemli parametredir ve insan fizyolojisine uygun değerlerde olmalıdır. İlkbahar koşullarında iç hava sıcaklığı daha çok dış sıcaklığa göre belirlenmesine rağmen, kış aylarında iç ortam tasarım sıcaklığı ortamın kullanım amacı ve tipine göre belirlenmektedir. Isıtma sistemleri projelerinde daha çok ortamın tipine göre bu sıcaklık değeri değişmektedir.

Nem ve sıcaklık değerlerinin fazla olduğu durumlar, iç ortamlarda stres kaynağı olabilirler. Aynı parametrelerin düşük olduğu durumlarda problem teşkil edebilir. Örneğin düşük nem değerleri burun ve ağızda kuruluk, vücuttan hızlı su kaybı gibi sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu nedenlerden dolayı iç ortam sıcaklığı 15-26 °C ve iç ortam bağıl nemi %30 ile %70 arasında olmalıdır (Işık & Cibuk, 2015).

• CO₂ Miktarı

İç hava kalitesi kontrolü yapılması için CO₂ önerilen en önemli bir iç hava kirleticisidir. Atmosfer havasında CO₂ 330 ile 500 ppm aralığındadır. Buna bağlı olarak iç ortamlardaki CO₂'nin bir diğer kaynağı da dış atmosferdir denilebilir. CO₂ zehirli bir gaz olmayıp, O₂ yetersiz olduğu koşullarda sağlık üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilir.

• Partikül Madde

Partikül maddeler katı veya sıvı halde olabilirler. Partikül madde PM olarak kısaltılarak ifade edilmektedir. İnsan sağlığı ile ilgili partiküller çapı 10µm (PM10)'den daha küçük, özellikle 2,5µm (PM2.5)'den küçük olanlar solunabilir partiküller olarak bilinmektedirler.

Partiküller, tozlar, dumanlar, sis, dumanlı sis, virüs, bakteri, mantar sporları ve polenleri içeren biyoaerosoller, kaba, ince, görünebilir veya görünemez, teneffüs edilebilir ve solunabilir olarak çok çeşitli sınıflandırılırlar. Taneciklerin çapı 0,1µm ile 25µm arasında, duman parçacıkları tipik olarak 0,25µm dolaylarındadırlar, duman ise genellikle 0,1µm den daha küçüktürler. Biyoaerosoller ise genellikle 1µm'den daha küçüktürler. Partikül madde miktarı genellikle birim hacimdeki kütle veya parçacık adedi olarak verilir. Partikül madde miktarı endüstriyel ortamlarda µg/m³ veya mg/m³ olarak, ofis binalarında ve endüstriyel temiz odalarda ise adet/m³ olarak ifade edilir (Bulut, 2011).

İç Hava Kalitesi ile İlgili Standartlarda Önerilen Sınır Değerler

Ülkemizde de tıpkı dünyanın birçok ülkesinde, iç hava kalitesi ile ilgili kirleticiler için izin verilebilen maksimum sınırları belirleyen standartlar bulunmaktadır. Bu standartlar sürekli güncellenmektedir. Tablo 1'de iç ortam ile ilgili değişik ülkelerin standartlarında iç hava kalitesi parametrelerine ait sınır değerler verilmektedir. Tabloda görüldüğü gibi iç hava kalitesi parametrelerinde önerilen sınır değerler ülkelerde farklılık gösterebilmektedir. (Bulut, 2007).

Tablo 1. İç Hava Kalitesi ile İlgili Standartlarda Önerilen Sınır Değerler (Bulut, 2007)

	CO ₂	Partikül Madde	Bağıl Nem	Sıcaklık
ABD ASHRAE	1000ppm	PM 10<75µg/m ³ (Yıllık ortalama)	%30-60	20-25,5°C
Almanya	5000ppm 9000ppm (15dak.)		%30-70	20-26°C
Kanada	3500ppm	PM2.5<40 µg/m ³ (8saat) PM2.5<100 µg/m ³ (1saat)	%30-80(yaz) %30-55(kış)	
Çin		PM10<150 µg/m ³		
WHO		PM10<20 µg/m ³ (yıllık ortalama) PM10<50 µg/m ³ (24saat)		
İngiltere		PM10<50 µg/m ³		
Norveç		PM2.5<20µg/m ³		
Avrupa Birliği		PM2.5<35µg/m ³		
Hong Kong	800ppm(1.düzye) 1000ppm(2.düzye)	PM10<20µg/m ³ (1.düzye) PM10<180µg/m ³ (2.düzye) (8 saat ortalama)	%40-70	20-25.5°C

İç Hava Kalitesi Oluşumunda Yapı Malzemelerinin Rolü

İnsanların barınma gereksinimi karşılanırken, aynı zamanda içinde buldukları binada sağlıkları için uygun koşullar oluşturulmalıdır. İç ortam hava kalitesinin belirlenmesi ve kontrol edilmesi bu koşullardan en hayati olanıdır.

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA), sağlıklı yapılar, sağlıklı insanlar konusuyla ilgili olarak hazırladığı raporda, insan sağlığı üzerinde iç ortamın çok büyük bir etkiye sahip olduğunu, iç ortamlardaki kirlilik düzeyinin bazı zamanlarda dış ortamdan daha yüksek olduğunu belirtmiştir (EPA, 2018). Yine aynı rapor kapsamında, iç ortamlardaki kirliliklerin her yıl binlerce solunum yolu hastalığı ve yüzlerce kanser sebebi ölümlere neden olduğunun tahmin edildiği, iç ortam hava kirliliklerine maruz kalan binlerce çocuğun kanındaki kurşun düzeyinin yükseldiğinin anlaşıldığı açıklanmıştır (Vural & Balanlı, 2005).

İç Ortam Hava Kirleticisi Kaynakları

İç ortamlarda bulunan kirleticiler ve kirleticilerin kaynakları birbirlerinden farklılık göstermektedir ve çok çeşitlidir. İç ortam kirleticilerinden bir kısmı konut içerisinde yapılan temizlik faaliyetlerinden (UOB), iç ortam boyama işlemlerinden (UOB), yemek pişirme faaliyetlerinden (CO, NO_x, partiküller vb.), sigara kullanımından (CO, partiküller), koku giderici sprej veya oda parfümlerinin kullanımı (UOB), tüylü evcil hayvanların barındırılması (ev tozu, bakteri, mantar) gibi bazı aktiviteler sonucu ile üretilir. Bunun yanı sıra; bina malzemeleri, mobilya, ahşap, halı gibi ev içi kullanım malzemeleri, boyalar, ev bitkileri ve banyo malzemelerinden yayılmaları da söz konusudur. Ayrıca, iç ortam kirleticisi kaynaklarının dış ortamdan açılan pencere, kapı gibi açıklıklardan aktarımları da gerçekleşebilmektedir. Bazı iç ortam kirleticileri dış ortamda üretilirler ancak pencere ve kapılardan iç ortama girerler.

En belirgin iç ortam hava kirleticileri şu şekilde sıralanabilir:

- Kimyasal içerikli temizlik malzemeleri,
- Bina içi ve dış cephe yalıtım ve inşaat malzemeleri,

- c) Boyanmış ve şekillendirilmiş ahşap malzemeler,
- d) Halı ve mobilya kaplamaları,
- e) vernik ve cilalanmış ahşap ürünler,
- f) Tütün kullanımı (Sigara, nargile vb.)
- g) Nem ve sıcaklık
- h) Yetersiz havalandırma-yakma işlemi (yetersiz havalandırma, yakma sırasında eksik yanma ürünleri olan kirletici gaz emisyonlarının oluşmasına neden olur) (Karataş, 2015).

İç Ortam Hava Kirliliğini Etkileyen Faktörler

İç ortam hava kirletici kaynaklarının yanı sıra bazı faktörler; Isıtma, Havalandırma ve Soğutma Sistemleri (IHSS) kullanımı, havalandırma, CO₂ konsantrasyonu, sıcaklık ve nem gibi dış ortam hava kalitesi parametreleri de iç ortam hava kalitesini etkilemektedir. Bu faktörler aşağıda başlıklar halinde bahsedilmektedir.

• Isıtma, Havalandırma ve Soğutma Sistemleri

Dünyada yaşanan ekonomik gelişmelerle birlikte, son zamanlarda Isıtma, havalandırma ve soğutma sistemlerinin kullanımı toplumda artış göstermektedir. Bu sistemlerin kullanımı genel olarak termal konforun sağlanması ve iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Yapılarda yetersiz havalandırmanın sebep olduğu ısıtma, havalandırma ve soğutma sistemlerinin havayı etkin dağıtmaması, hasta bina sendromunun oluşmasına önemli bir etken olduğu düşünülmektedir.

• Havalandırma

Havalandırma kapalı ortamlarda bulunan havanın doğal ya da yapay olarak yenilenmesi durumudur. İnsanların bulunduğu kapalı bir iç ortamda, iç ortam havası, karbon dioksit miktarının artması ve oksijenin azalması sonucu zamanla kirlenmektedir. Kapı ya da pencerelerin açılması aracılığıyla, iç ve dış ortamlar arasındaki sıcaklık farkı sayesinde, havalandırma doğal biçimde gerçekleştirilebilir.

Mekanik havalandırma sistemlerinin bir temizleme sistemine sahip olması iç ortam hava kalitesi açısından önemlidir. HEPA filtreler, toz ve alerji yapıcılar gibi kirletici partiküllerin yok edilmesinin yanı sıra, bazı türleri uçucu organik bileşikler, diğer gazlı kimyasallar ve hoş olmayan kokular gibi moleküllerin bertaraf edilmesinde de etkindirler. Xu tarafından yapılan bir çalışmada, hava temizleme/havalandırma işlemlerinin 30 astımlı çocuk üzerinde uygulanan solunumun sağlıklarını iyileştirip iyileştirmediği ile ilgili yatak odalarında çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma olarak hava temizleme/havalandırma elemanı olan HEPAirX ile çalışılmıştır. Çalışma neticesinde, dikkat çekici çıkarımlardan bir tanesi, HEPAirX kullanımında PM10 konsantrasyonlarında %72 azalma olmasıdır. Ayrıca, kirletici konsantrasyonlarından olan UOB'de %59, CO₂'de %19 ve CO'da ise %30 oranında ciddi bir iyileşme gözlenmiştir. Bu çalışmadan çıkarılan diğer bir sonuçta, havalandırmanın yanında ek olarak hava temizleme işlemi de etkili astım hastalarının semptomlarını azaltabileceğini göstermektedir (Güllü, 2016).

• Karbondioksit (CO₂)

Kapalı ortamlarda CO₂ seviyesi, havalandırmanın yeterli olup olmadığını gösteren önemli bir indikatördür. Okulların sınıflarında yapılan bir çalışmada CO₂ seviyesinin havalandırma oranı artırıldığında düştüğü tespit edilmiştir. Kuş vd. üniversite dersliklerinde CO₂ ve partikül seviyesi ölçerek değerlendirdikleri iç hava kalitesinde CO₂ seviyesini ortalama 1,000–1,414 ppm (en yüksek 2,250ppm) olarak ölçmüşlerdir. Harran Üniversitesi birim ve ofislerinde CO₂ ve partikül seviyesi ölçülerek değerlendirilen iç hava kalitesinde CO₂ seviyesi ortalama 937 ppm olarak bulunmuştur. Diğer bir örnekte ise, İzmir bölgesindeki ilköğretim ve anasınıflarının değerlendirilmesinde ilköğretim sınıflarındaki CO₂ seviyesi 1,000 ppm' in üzerinde ölçülmüş, anasınıflarında ise kış döneminde 1,000 ppm' in üzerine çıktığı gösterilmiştir.

• Dış ortam hava kalitesi

Dış ortam hava kalitesi, infiltrasyon yolu ve havalandırma sistemlerinin yardımıyla iç ortam hava kalitesini hem kompozisyon olarak hem de seviye açısından etkilemektedir. Aynı anda dış ortamda da yapılan ölçümler sırasında her iki mevsimde de iç ortamdaki kirlilik ve PM seviyesinin dış ortama göre daha yüksek olduğu, sanayi bölgesine ve yola yakın konutlarda iç ortam PM seviyesinin dış ortamdaki daha fazla etkilendiği tespit edilmiştir (Bulut, 2011).

Hava Kirleticilerinin Konsantrasyon Belirleme Yöntemleri

Hava kirlenici konsantrasyonları; ortam konsantrasyonlarının belirlenmesi ve kişisel maruziyet miktarının belirlenmesi olarak iki farklı şekilde düşünülebilir (EPA, 2018). Konsantrasyonların belirlenme sürecinde yapılan ölçümlerde ilk olarak anlık ölçümler ya da uzun süreli ölçümler söz konusudur. Anlık ölçümde ölçümün yapıldığı zaman dilimi (3-5 dakika) önemliyken uzun süreli ölçümler; 12 saatten 1 haftaya kadar değişmektedir.

Ölçüm yöntemleri temel olarak aktif ve pasif olarak iki başlıkta incelenmektedir. Aktif olan yöntem zorlamalı gerçekleşirken pasif yöntem difüzyon metoduna dayanır. Temelde kısa süreli ölçümler aktif yöntemle gerçekleştirilirken uzun süreli ölçümler pasif yöntemle gerçekleştirilir. İlkbahar ve kış mevsimi olmak üzere iki farklı mevsimde yapılan ölçümlerde havalandırma ve sıcaklık-nem değerleri değişiklik göstereceğinden ve sonuçların yorumlanması anlamlı olacağından örneklemelerin iki periyotta yapılması daha sağlıklı olmuştur.

Uluslararası anlamda OSHA (Occupational Safety Health Administration America), EPA (Environmental Protection Agency-America) gibi kuruluşlar çalışanların 12 saatlik sürede maruz kalabilecekleri gaz ya da partikül halindeki kimyasalların maksimum sınır değerlerini belirtmiştir. Bunun yanında "www.gestis.com" internet adresinden de tüm ülkelerin ulusal bazda 12 saatlik kişisel maruziyet için belirlemiş oldukları azami sınır değerleri öğrenilebilmektedir.

Yapılan uygulamada her işyeri sahibi; işyeri için gerekli görülen durumlarda yaptırmış olduğu ölçümler neticesinde elde edilen değerleri öncelikle ulusal mevzuat sınır değerleriyle, mevzuatta olmayan değerleri de uluslararası anlamda belirlenmiş sınır değerleriyle karşılaştırmak ve buna göre durum değerlendirmesi yaparak işyeri güvenliği ve çalışanların iş sağlığı için gereken önlemleri almak zorundadır (Karataş, 2015).

İç Ortam Kirleticilerinin Sağlık Üzerindeki Etkileri

• Partiküllerin Sağlık Açısından Önemi

Toz taneciklerinin solunum sisteminde ve akciğerlerdeki hareketleri ve etkileri, aerodinamik karakteristiklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Partiküllerin solunum sisteminin çeşitli bölgelerinde birikmesi, büyüklüklerinin bir sonucudur. Canlıların burun delikleri, çok ince partiküllerin yanı sıra oldukça büyük toz partiküllerinin de burun kısmından (pharynx) içeri girmelerine izin verir. Partiküller daha sonra solunum sistemi ve akciğerlerde çeşitli mekanizmaların etkisiyle tutulurlar (Bulut, 2011).

Toz, partiküllerin bir alt grubudur. Toz tanelerinin boyutları genel çerçevede 0.10-300µm arasında değişmektedir. Bu aralıktaki partiküllerin yalnızca 60µm altında olanları solunumla alınmaktadır. Sağlık açısından en önemli olan boyuttaki partiküller; boyutları 0.5-5µm arasında değişen ve ince tozlar (respirable tozlar) adı verilen tozlardır. Bu tozlar solunum yoluyla akciğerlerdeki alveollere kadar ulaşırlar ve "pnömokonyoz" adı verilen akciğer hastalıklarına neden olurlar. Esasen alveollere gelen bu toz zerreciklerinin bir kısmı, vücudun koruma mekanizması çok güçlü olduğundan zamanla solunum, salgı gibi akciğerlerin kendi kendisini temizleme özelliğine bağlı olarak elimine edilmektedirler. Diğer bir kısmı ise akciğerlerde birikerek 10-20 yıl gibi bir sürede akciğer hastalıklarına neden olurlar.

• Biyoaerosollerin Sağlık Açısından Önemi

Biyolojik etkenler ıslak ve rutubetli duvarlar ve tavanlardan, halılardan ve eski eşyalardan kaynaklanmaktadır. Bunların dışında iç ortamda bulunan buhar oluşturuca kaynaklar, beyaz eşyalar, klimalar, yataklar ve ev içindeki evcil hayvanlar da sayılabilir. Bu etkenler, göz, burun ve boğaz tahrişine, solumakta zorlanmaya, baş dönmesine, ateşli hastalıklara, şuur kaybına, mide rahatsızlıklarına ve diğer enfeksiyon hastalıklarına neden olmaktadır. Genel olarak rahatsızlıklar; alerji, zehirlenme ve enfeksiyon hastalıkları olarak sınıflandırılabilir. Bu etkenleri iç ortamda azaltmak amacıyla;

- Yemek yaparken mutfak havalandırmasına ve duş sonrası banyoların havalandırmasının iyi biçimde yapılması
- Giyilmiş kıyafetlerin, dokumaların, halıların vb. dış ortamda havalandırılması sağlanmalı
- Klimaların, buzdolaplarının içindeki suların sık temizlenmesi
- Perdelerin temiz ve kuru tutulması
- konuttaki eşyaların ve duvarların sıkça tozlarının alınması ve bu esnada pencereler veya kapılar yardımıyla iç ortam havalandırmasının yapılması gerekmektedir.

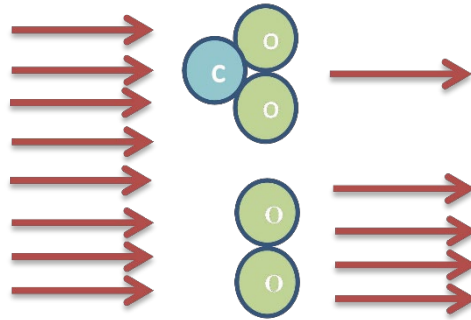
MATERYAL METOT

CO₂ Sensörü

Bu çalışmada Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi AR-GE Proje Pazarı kapsamında sunulmuş olan CO₂ ölçüm cihazı ile belirlediğimiz iç ortamlarda ölçümler yapılmıştır. Cihaz CO₂ ölçümünü Non-Dispersive Infrared (NDIR) sensör kullanılarak gerçekleştirmektedir. Non-Dispersive Infrared (NDIR) teknolojisi, İç Hava Kalitesi analizlerinde CO₂ ölçümünün en yaygın yöntemidir. NDIR sensörü: Kızılötesi (IR) Lambası, Gaz Numune Odası, Dalga Boyu Filtresi ve bir IR Detektöründen oluşur.

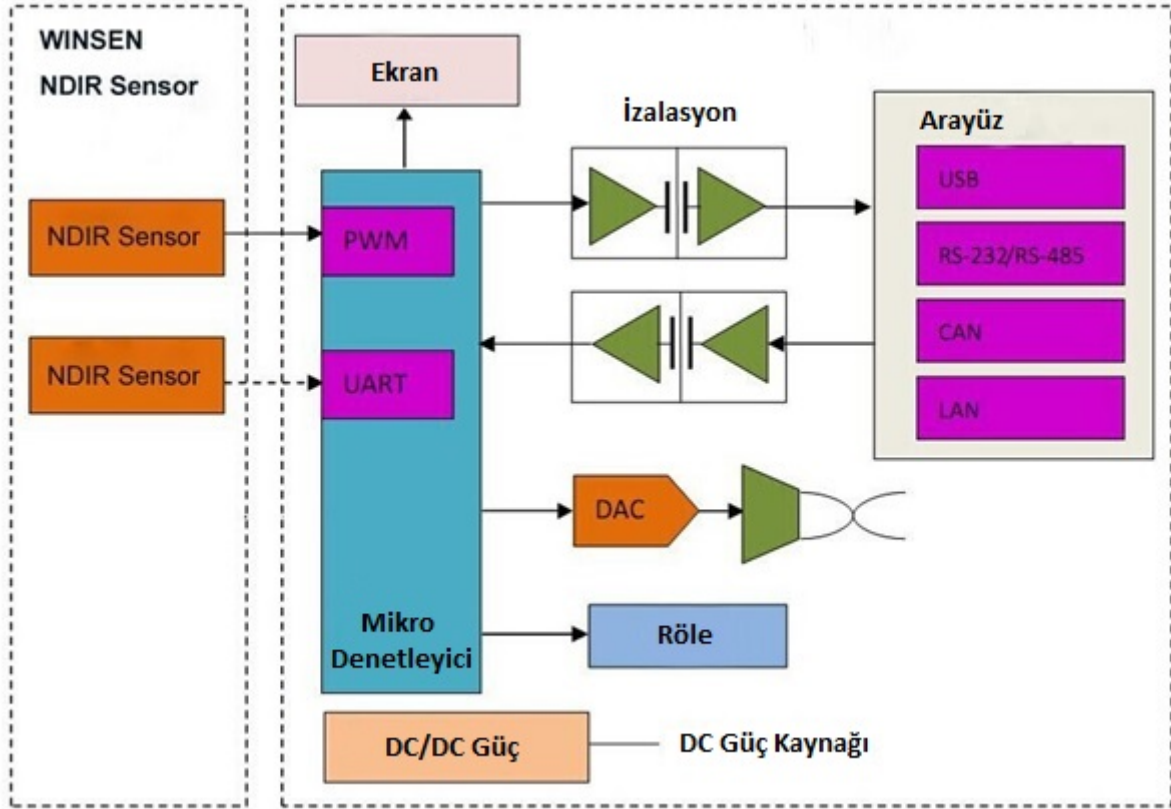
NDIR sensörleri ışığın bileşen renklerine veya enerjilerine dağılmasına ilişkin spektroskopi kullanarak çalışır. Bunun bir örneği, geniş bir dalga boyu aralığından (~ 390nm-700nm) oluşan, Görünür Spektrumdaki ışıktır (ışık insanları görebilir). Tüm bu dalga boyları mevcut olduğunda, ışık insan gözünde beyaz görünür. Ancak, görünür beyaz ışık yağmur veya prizma ile kırıldığında, beyaz ışık, her biri belirli bir dalga boyuna sahip enerjinin (örneğin menekşe-400nm, kırmızı -650nm) olduğu gökkuşağının her rengine bölünür. Beyaz ışık, vitray bir pencere veya güneş gözlüğü gibi bir filtreden geçtiğinde, gördüğümüz ışığın rengini değiştiren bir miktar dalga boyu ışık emilir veya yeniden yönlendirilir (E-Instrument Technical note #AQ-14-624).

Benzer şekilde, bir NDIR sensörü, bir IR lambasının, bir odanın diğer ucundaki IR detektörü tarafından ölçülen, geniş bir enerji spektrumu (~ 900nm-100,000nm) içeren bir IR ışık yayması için spektroskopi yoluyla çalışır. Gaz Numune Odasına gaz numunesi pompalandığında, CO₂ gibi bazı gazlar IR spektrumunda belirli bir enerji dalga boyunu emen bir filtre görevi görür. Bu durum Şekil 1.'de gösterildiği gibidir. Örnekteki diğer gazlar, bu IR ışığın dalga boyunu emmez. CO₂ ölçen bir NDIR sensöründe, IR Detektörünün hemen önüne yerleştirilen bir Dalga boyu Filtresi sadece CO₂ tarafından absorbe edilen IR enerjisinin dalga boyunun geçmesine izin verir. IR Detektörü, numuneden geçtikten sonra, bu IR ışığın dalga boyunun konsantrasyonunu ölçer. Gaz numunesindeki CO₂ miktarı ile hedef enerji seviyesinde tespit edilen IR ışığı miktarı arasında ters bir ilişki vardır. Odada CO₂ olmadığında, IR ışığının tümü detektöre ulaşacaktır. Gaz örneğindeki CO₂ konsantrasyonu arttıkça, bu enerjide IR Işığı ve IR Detektörü tarafından tespit edilen IR ışığı o kadar az olur. Bu enerji ölçümünü kullanarak, sensör gaz örneğindeki CO₂ konsantrasyonunu milyonda bir birim (ppm) cinsinden hesaplar (E-Instrument Technical note #AQ-14-624).



Şekil 1. NDIR Sensörde IR Işıklarının CO₂ Molekülleri Tarafından Emilimi (E-Instrument Technical note #AQ-14-624)

Bu çalışmada kullanılan sensörün teknik dokümanında ön ısıtma süresi 180sn olarak verilmiştir. Tepki süresi T90 < 60sn'dir. Bu çalışmada sensör bu ve teknik dokümanda yer alan diğer kriterler dikkate alınarak kullanılmıştır. Sensör iki türlü kalibrasyon özelliğine sahiptir; bunlar zero ve span point kalibrasyonlarıdır. Sensöre ait uygulama devresi Şekil 2.'de görülmektedir.



Şekil 2. CO₂ Sensörü Uygulama Devresi (Winsen, Teknik Doküman MH-Z19)

İç ortam ölçümlerinde meydana gelen farklılıklar ısınma veya soğutma şekli, ortam koşulları ile farklılıklar göstermektedir. İç ortam havasında CO₂'in kabul edilebilirlik sınır değeri 1000 ppm olarak belirlenmiştir. 1000 ppm sınır değerinin üzerindeki her değer insanların yaşam kalitesine ve sağlığına olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Tasarladığımız CO₂ ölçüm cihazı Şekil 3.'de gösterilmiştir.

Çalışmanın Yapıldığı Yerler

Bu çalışmada, Hilvan ilçe merkezinde 3 farklı mahallede ölçümler yapılmıştır. Isınma-soğutma, sosyal yapı gibi özelliklere göre kişi sayısı birbirinden farklı 3 konut, 4 adet işyeri ve 3 adet kamu kuruluşunda CO₂ ölçümleri yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre;

- Yapı malzemeleri,
- Kişi sayısı ve kişisel aktiviteler,
- Mevcut iç ortam hacmi,
- Havalandırma süresi,
- Trafik yoğunluğu,

Ortamın ısıtma sistemi gibi özelliklere bağlı olarak yapılan ölçümler iç ortam karbondioksit değerlerini ve bu değer aralıklarında kişilere etkileri belirlenmiştir.



Şekil 3. CO₂ Ölçüm Cihazı

Karbondioksit konsantrasyonlarının farklı mevsimlere göre değişimlerini belirleyebilmek için ölçümler ve çalışmalar 26.12.2018 – 10.03.2019 (kış) ve 20.04.2019- 15.06.2019 (ilkbahar) tarihleri aralığında olarak farklı mevsimlerde yapılmıştır.

Cihaz açıldıktan sonra ölçümlerin doğruluğunu test edebilmek amacıyla, öncelikle dış ortamda ölçüm yapılmıştır. Ardından iç ortamda belirlenen aralıklarla ve iç ortamın özellikleri hangi zaman diliminde ne kadar sürelik ölçüm yapıldığı kaydedilerek (ısıtma kaynağı, kişi sayısı vs.) ölçümler gerçekleştirilmiştir.

TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Ölçümler, Aralık 2018 – Haziran 2019 tarihleri arası Şanlıurfa/Hilvan merkezde bulunan 3 konutta, 4 işyeri ve 3 kamu kuruluşunda yapılmıştır. Tüm örnekleme bölgeleri herhangi bir merkezi ısıtma sistemi ile ısıtmakta ve doğal havalandırma ile havalandırılmaktadırlar.

Konutlarda ve işyerinde kış ve ilkbahar mevsiminde ölçümler alınmıştır. Konutlarda, ölçümler oturanların hepsinin bir arada olduğu akşam saatlerinde kış boyunca her ay farklı günlerde alınmıştır. Kamu kuruluşlarında mesainin devam ettiği dönemlerde ölçümler alınmıştır. Tüm ölçümler örnekleme noktalarının farklı bölgelerinde nefes alma yüksekliklerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3'te sırasıyla konut, ofis ve iş yerlerinde alınan iç hava kalitesi ölçümlerin mevsimlere göre ortalama, maksimum ve minimum değerleri verilmiştir. Tablodan ortalamalarda en büyük CO₂ miktarı kişi yoğunluğundan dolayı işyerlerinde ölçülmüştür. İç ortam CO₂ miktarının dış ortam CO₂ miktarına oranı için istatistiksel değerler tüm mahaller göz önüne alınarak verilmiştir.

İşyerleri ve kamu binalarında pencereler PVC ve çift camlı olması hava infiltrasyonunu önemli derecede düşürmektedir. Ancak Tablo 1.'den sızıntı yoluyla içeri giren dış hava miktarının havalandırma ve iç hava kalitesi açısından yeterli olmadığı görülmektedir. Bu durum iç ortamdaki kirletici derişimlerini de istenen seviyelere düşürememektedir. Tablo 1.'den CO₂ miktarlarının havalandırmanın yetersizliği sebebiyle yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 1. İç Konutlar, İş Yerleri ve Kamu Binalarının Mevsimlere Göre CO₂ Değerleri

	İlkbahar Dönemi CO ₂ (ppm)			Kış Dönemi CO ₂ ppm		
	Ort.	Maksimum	Minimum	Ort.	Maksimum	Minimum
Konutlar	624	922	326	799	952	645
Kamu binaları	799	1108	490	784	1028	540
İş yerleri	871	1140	602	862	1045	678

SONUÇLAR

Farklı iç ortamlarda CO₂ miktarları ölçülerek, CO₂ miktarları incelenmiştir. İç ortam CO₂ miktarları üzerinde, yapı ve ortamdaki malzemelerin, kişi sayısının ve yapının kullanım şeklinin etkili olduğu görülmüştür. Ölçülen CO₂ miktarının kabul edilebilir iç hava kalitesi için ASHRAE tarafından önerilen 1000 ppm değerini zaman zaman aştığı ve insan sayısına bağlı olduğu görülmüştür.

Konut, işyerleri ve ofislerde iç hava kalitesi ölçümleri alınarak, CO₂ miktarının diğer parametrelerle ilişkisi incelenmiştir. CO₂ miktarı ile kişi sayısı arasında pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. CO₂ miktarının havalandırma için yeterli bir parametre olduğu görülmüştür. CO₂ miktarına göre havalandırma miktarları belirlenmiş ve CO₂ miktarına göre havalandırma yapıldığında enerji tasarrufu sağlanacağı görülmüştür. Doğal havalandırmanın tek başına iç hava kalitesini sağlamadığı görülmüştür. Konutlarda ahşap pencerelerde hava infiltrasyon miktarının göreceli olarak yüksek olduğu fakat iç hava kalitesi açısından yeterli olmadığı tespit edilmiştir. İşyeri ve ofislerde bulunan çift camlı PVC pencerelerin sıkı olması hava sızıntısının engellemesi açısından iyi olduğu ancak temiz hava sağlamak açısından iyi olmadığı görülmüştür. Hastane ve okulların mutlak şekilde temiz hava ile beslenmesi gerekir. Okullarda, havalandırmanın CO₂ miktarına göre yapılması enerji verimliliği açısından daha uygun olacaktır.

İnsan sayısının değişiklik gösterdiği okul, ofis, hastane ve banka gibi mahallerde en az enerji harcanarak ısı konfor ve iç hava kalitesi, CO₂ ölçümüne göre çalışan ihtiyaca dayalı havalandırma sistemleri kullanılarak sağlanabilir. Klasik havalandırma sistemi, enerji israfına ve kaynakların boşuna harcanmasına neden olabilir.

Sonuç enerji verimliliği açısından CO₂ kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırma sistemlerinin kullanılması daha uygundur. Ayrıca havalandırma sisteminde filtrasyonun yani hava temizliğinin iyi yapılması gerekmektedir. İnsan yoğunluklu iç ortamlarda kirletici kaynağı olabilecek halı ve mobilyadan kaçınılmalıdır. Fotokopi ve yazıcı gibi özel amaçlı makine veya cihazlar için ayrı ortamlar olmalıdır. İnsan hareketliliğinden dolayı tekrar ortamda uçuşmaması için yere çökelmiş tozların alınması açısından iç ortamlarda bulunan yerler sürekli temizlenmelidir. Merkezi havalandırma sistemlerinin olmadığı yerlerde kirli havanın aspiratörlerle dışarı atılması gerekir. Eğer havalandırma ve iklimlendirme cihaz veya sistemleri varsa bakımlarının periyodik olarak yapılması gerekir. Çünkü bakımı yapılmayan sistemler iç ortam CO₂ konsantrasyonu açısından kirlilik kaynağı olabilmektedirler. Özellikle filtrelerin bakımı veya değişimi bu tür sitemlerde aksatılmamalıdır. Örneğin; partikül madde kirleticilerinin genelde iç kaynaklı olduğu görülmüştür. Sigara içilen ofislerde CO₂ ve PM miktarının, sigara içilmeyen ofislerdeki değerlerden ve standartlarda belirtilen sınırlardan çok büyük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Sigara içilmeyen ofislerdeki kirletici miktarların standartlarda belirtilen sınır değerlerin altında kaldığı gözlenmiştir. Sigara içildikten sonraki zamanlarda ölçüm alınmasına rağmen değerlerin çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum kışın pencere ve kapıların kapalı olması nedeniyle içerideki kirleticilerin iç ortamın havasında uzun süre kaldıklarını göstermektedir. Ofis binalarında sigara içme odaları tesis edilmelidir

İç kirleticilerin konsantrasyon değerleri, dışardan temiz hava verilerek ve kirlenen iç hava dışarı egzoz edilerek düşürülebilir. Havalandırma sisteminde temiz hava ve atık hava kanalları olmalıdır. Dış hava kalitesi istenen

değerlerde değilse çeşitli filtrelerden geçirilmesi gerekir. Enerji tasarrufu ve verimliliği açısından atık havanın enerjisinden ısı geri kazanım cihazları kullanılarak yararlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Altun S.H., İç ortam hava kirliliğinin doğurabileceği sağlık etkileri, On dokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 2015.

Bulut, H., Havalandırma ve iç hava kalitesi açısından CO2 miktarının analizi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2011, İzmir.

Bulut, H., İklim 2007- II. Ulusal İklimlendirme Kongresi Bildiriler Kitabı, Isıtma sezonunda ofislerde iç hava kalitesinin araştırılması.

Çilingiroğlu, S., İç hava kalitesi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2010.

E Instrument, Technical note #AQ-14-624 URL: <https://www.e-inst.com/wp-content/uploads/2018/04/AQ-14-624-Technical-Note-CO2-NDIR.pdf>

EPA Indoor Air Quality, 2018 URL: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>

Gönüllü, M.T., Bayhan, H., Avşar, Y., Arslankaya, E., YTÜ Şevket Sabancı Kütüphane Binası iç ortam havasındaki partiküllerin incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2002.

Güllü, G., İlköğretim okullarında iç ortam hava kalitesi ve sağlık etkileşimi, Tesisat Mühendisliği, Mart-Nisan 2016.

Işık, E., Çibuk, S., Yemekhaneler ve kantinlerde iç hava kalitesi ile ilgili ölçüm sonuçları ve analizi -Tunceli Üniversitesi örneği, Tunceli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2015.

Karataş, B., İç ve dış hava ortamlarında partiküler madde (PM10, PM2.5, ve PM1) konsantrasyonlarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi (2015).

Okullarda aydınlatma ve görsel konfor, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ocak 2015.

Vural, S.M, Balanlı, A., Yapı ürünü kaynaklı iç ortam hava kirliliği ve risk değerlendirme ön araştırma, YTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 1, Sayı 1, 2005.

Winsen CO2 Sensörü, Teknik doküman MH-Z19 URL: <https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Infrared%20Gas%20Sensor/NDIR%20CO2%20SENSOR/MH-19%20CO2%20Ver1.0.pdf>



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 28.08.2019
Kabul Tarihi : 05.09.2019

Received Date : 28.08.2019
Accepted Date : 05.09.2019

ROTORU SARGILI BİR ASENKRON MOTORUN SENKRON HIZDA DÖNEN DQ EKSENİNDE VE ROTOR AKILARI KULLANILARAK SİMULASYONU

SIMULATION STUDY OF WOUND TYPE INDUCTION MOTOR IN SYNCHRONOUS DQ REFERENCE FRAME USING ROTOR FLUXES

Metin SALİHMUHSİN ^{1,*} (ORCID: 0000-0003-2069-9376)

Mehmet EKER ² (ORCID: 0000-0003-0954-6774)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elbistan Meslek Yüksekokulu, Elektronik Teknolojisi Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Metin Salihmuhsin, msalihmuhsin@ksu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada 3 fazlı motoru sargılı bir asenkron motorun senkron hızda dönen dq ekseninde rotor akıları kullanılarak matematiksel modellemesi yapılmış ve elde edilen motor modelinin Matlab/Simulink programı ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen Simülasyon programı başarılı bir şekilde çalıştırılmış ve program kullanılarak stator d ve q eksenleri akımları, rotor d ve q eksenleri akıları, motorun oluşturduğu elektriksel moment ve motor milinin açısal dönüş hızının 0-1.1 saniyeleri arasındaki değişimleri grafiksel olarak gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Asenkron motor; Dq eksen takımı

ABSTRACT

This study involves generating mathematical model of a wound type induction motor in synchronously rotating dq reference frame utilizing rotor fluxes. A program using Matlab/Simulink is developed to simulate the motor model. The developed program successfully worked. Values of motor parameters such as stator d and q axis currents, rotor d and q axis fluxes, electrical torque and rotor speed in between 0 and 1.1 seconds are displayed graphically.

Key words: Induction motor; Dq reference frame

GİRİŞ

Geliştirilmesi ve kullanılmaya başlanması neredeyse DC makinalarla aynı çeyrek asırda olmasına rağmen, kontrolünün nispeten zor ve kararlı çalışma aralığının sınırlı olması nedeniyle asenkron motorların sanayide kullanımı 1960'lı yıllara kadar dc motorlardan geride kalmıştır. 1960'lı yıllardan sonra yarıiletken elemanların oluşturduğu güç elektroniği devrelerinin kullanılmaya başlanması ile bu makinelerin sanayide kullanımı artmaya başlamıştır. 1970'li yıllara kadar bu makinelerin kontrolü genellikle V/f gibi hassas hız ve moment kontrolüne uygun olmayan yöntemlerle yapılabilmştir. Vektör kontrolü veya alan yönlendirmeli kontrol olarak adlandırılan ve 3 fazlı stator akımlarını, makinadaki manyetik akı ve makinanın oluşturduğu elektriksel momenti ayrı ayrı ve birbirinden bağımsız olarak kontrol edebilen iki bileşene ayıran yöntemin geliştirilmesi ile kısa sürede sanayideki kullanımı %80'lere varacak seviyelere ulaşmıştır (Kingsley, Dorf).

Diğer elektrik makinelerinde olduğu gibi asenkron makinalarında da motora yol verme veya hız ve moment kontrolü benzeri işlevler yapılmaya başlanmadan önce makinanın matematiksel modelinin oluşturularak çalışmasının doğru bir şekilde anlaşılması önem arz etmektedir. Asenkron makineler için makine modelinin abc 3 fazlı ekseninde veya alfa-beta 2 fazlı ekseninde oluşturulması karmaşık ve nispeten zaman gerektiren bir süreçtir.

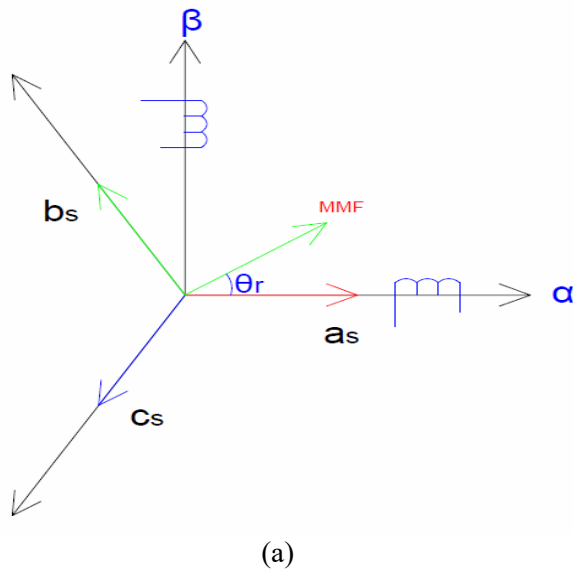
Bunun en önemli sebebi asenkron makinalarda stator akım ve gerilimlerinin statik (hareket etmeyen) eksen takımında modellenmesine karşılık makinanın rotor akım ve gerilimlerin rotorla birlikte dönüyor olmasıdır. Bu ise rotor akım ve gerilimlerinin stator akım ve gerilimleri ile beraber işleme alınmasını zorlaştırmaktadır. Dq eksen takımı adı verilen ve öncesinde rotor akım ve gerilimlerinin 3 fazdan 2 faza indirgenip durağan bir eksen takımında modellenmesine sonrasında ise bu durağan eksen takımının istenilen herhangi bir hızda dönmesine olanak sağlayan matematiksel dönüşüm yönteminin geliştirilmesi ile modelleme işlemi daha kolay yapılabilir hale gelmiştir. (Sarıoğlu ve ark., Vas).

Literatürde bu makinaların modellenmesi ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır (Kocabas ve ark., Guo ve ark.). Bu makalede yapılan çalışma asenkron makinaların alan yönlendirmeli kontrolü üzerine yapılan bir ön çalışma niteliğinde olup asenkron makinaların dq eksen takımında modellenmesini kapsamaktadır.

MATERYAL VE METOT

Asenkron Motorun dq Eksen Takımında Modellenmesi

Bir asenkron makinanın dq eksen takımında modellenmesi işlemi yapılmadan önce makinanın abc eksen takımındaki modellenmesine bakılmasında yarar vardır. Bu amaçla makinanın statorundaki a, b ve c olarak adlandırdığımız 3 adet sargısının birbirine 120° lik açılarla ve dairesel olarak statora yerleştirildiğini farz edelim. Aynı zamanda bu 3 sargıya aşağıda verilen ve aralarında 120° faz farkı bulunan 3 gerilimin uygulandığını kabul edelim. Şekil 1'de bu grafiksel olarak gösterilmektedir.



$$v_{sa}(t) = V_m \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$v_{sb}(t) = V_m \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad (2)$$

$$v_{sc}(t) = V_m \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \quad (3)$$

Şekil 1: (a) 3 faz abc ekseninin şeması. (b) Stator a, b ve c sargılarına uygulanan kaynak gerilimleri

Bu durumda stator a fazında indüklenen gerilim denklemi şu şekilde olacaktır:

$$v_{sa}(t) = r_s i_{sa}(t) + p \phi_{sa}(t) \quad (4)$$

$i_{sa}(t)$: Stator a fazından geçen akım (A)

r_s : Stator a fazı direnci (Ohm)

p : $\frac{d}{dt}$ diferansiyel operatörü

$\phi_{sa}(t)$: Stator a fazı bobinini çevreleyen net manyetik akı (Wb)

Yukarıdaki denklemlerde her bir stator ve rotor sargısını çevreleyen net manyetik akı bulunurken hem sargının kendi akımının hem de stator ve rotordaki diğer sargıların akımlarının oluşturdukları manyetik akıların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Sadece stator a fazı bobini için bu akı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\varphi_{sa}(t) = L_S i_{sa} + M_S i_{sb} + M_S i_{sc} + M_{rs} \cos \theta_r i_{ra} + M_{rs} \cos(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) i_{rb} + M_{rs} \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) i_{rc} \quad (5)$$

L_S : Stator a fazı self endüktansı (H)

M_S : Herhangi iki stator fazı arasındaki ortak (mutual) endüktans (H)

M_{rs} : Herhangi bir rotor ve stator fazı arasındaki ortak (mutual) endüktans (H)

θ_r : Rotor a fazı eksenini ile stator a fazı eksenini arasındaki açı (rd)

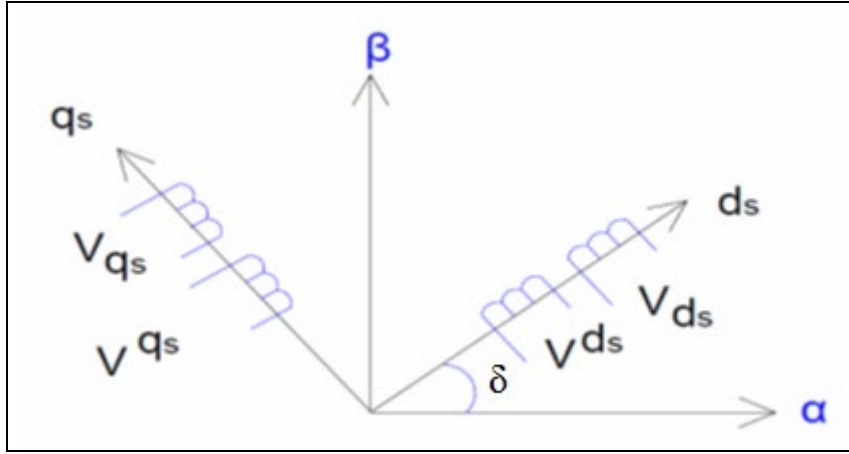
Makinanın modelinin oluşturulabilmesi için hem stator hem de rotordaki her bir faz bobini için bu akı bağıntılarının bulunup voltaj denklemlerinde yerine yazılması ve elde edilecek denklem sistemine birde motorun mekanik denkleminin eklenmesi gerekmektedir. Bu durumda, sonuçta elde edilecek denklem sisteminde hem diferansiyel denklem sayısı hem de değişken sayısının oldukça fazla olacağı görülecektir. Ayrıca sistem doğrusal olmayan diferansiyel denklemler içermektedir. Bu denklem sisteminin bu şekli ile çözümlenmesi hem zor hem de zaman gerektiren bir süreçtir.

Abc eksenindeki motor denklemleri çok sayıda denklem ve değişken içerdiklerinden sistemdeki denklem ve değişken sayısının azaltılması için sistemin 3 fazdan iki fazlı bir eksen sistemine indirgenmesi işleminin yapılması gerekir. Bu işlem Clark dönüşümü kullanılarak yapılır. Clark dönüşümü sadece motorun elektriksel modeline ve elektriksel moment ifadesine uygulanır. Motorun mekanik denkleminde herhangi bir değişiklik yapılmaz. Aşağıda verilen Clark dönüşüm matrisi sistemdeki toplam gücün korunumu ilkesi göz önünde bulundurularak elde edilen dönüşüm matrisidir. Matrisinin üçüncü satırı sıfır dizisi (zero sequence) olarak adlandırılıp dönüşümün tersi alınabilir bir dönüşüm olmasının istendiği durumlarda kullanılır.

$$C = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$\alpha\beta$ dönüşümü her ne kadar motor denklemlerinde değişken sayısının azaltımı ve denklemlerin sadeleştirilmesi gibi iyileştirmeler yapıyor olsa da, bu dönüşüm sonrasında stator değişkenleri hala durağan eksen ve sinüzoidal olarak değişen değişkenler ve rotor değişkenleri de dönen rotorda sinüzoidal olarak değişen değişkenlerdir. Ancak bilindiği üzere motorların hız ve moment kontrolü için oluşturulan geri beslemeli kontrol döngüleri genellikle PI benzeri kontrolörler kullanmakta ve bu kontrolörlerin girişlerinin de dc değerler olması gerekmektedir. Bu sebeple $\alpha\beta$ eksenine aktarılmış değişkenlerin yeni bir dönüşüm işlemine daha tabi tutulması gerekir. Bu dönüşüm işlemi Park dönüşümü olarak adlandırılır. Park dönüşümü motorun elektriksel modelindeki stator denklemlerine doğrudan uygulanır. Rotor denklemlerine uygulanması durumunda ise rotor denklemlerinin önce 'sözde değişmeyen' (pseudo-stationary) eksene aktarılacağı bir ön dönüşüme tabi tutulması gerekir.

Dq eksen takımı, hareket edebilen bir eksen takımınıdır. Bir başka deyişle eksen takımı rotora benzer bir şekilde dairesel olarak bir w_{dq} açısal hızıyla sürekli olarak dönebilmektedir. Şekil 2 herhangi bir w_{dq} açısal hızı ile dönen bir dq eksen takımının stator alfa eksenini ile arasında $t = 0$ anında bir δ açısı olduğu durumu göstermektedir.



Şekil 2: dq eksen takımının şeması.

Dq dönüşümü için kullanılan Park dönüşüm matrisi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$P = \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ -\sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} \quad (7)$$

Pratikte dönen bir dq eksen takımı için sadece 3 adet hız önem arz etmektedir. Bunlardan ilki $w_{dq} = w_s$ (kaynak voltajının açısal hızı veya çok bilinen adıyla senkron hız), ikincisi $w_{dq} = w$ (rotorun milinin mekanik hızı) ve üçüncüsü ise $w_{dq} = 0$ 'dır (durağan eksen takımı). Clark ve Park dönüşüm matrislerinin her ikisi beraber tek seferde uygulanabilmektedir. Bu işlemi gerçekleyen matris aşağıda verilmiştir (Sarioğlu ve ark.).

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_r & -\sin \theta_r \\ \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_r + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Clark ve Park dönüşümlerinin abc eksen takımındaki denklemlere uygulanması ile bir asenkron motorun senkron hızda dönen dq eksen takımındaki denklemlerinin matris formuna getirilmiş ifadeleri aşağıda verilmiştir (Sarioğlu ve ark.).

$$\begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_r' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_r' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{ss} & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_{ss} & 0 & L_m \\ L_m & 0 & L_r' & 0 \\ 0 & L_m & 0 & L_r' \end{bmatrix} p \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -w_s L_{ss} & w_s L_m & 0 \\ w_s L_{ss} & 0 & 0 & w_s L_m \\ w_r L_m & 0 & L_r' & -w_r L_r' \\ 0 & w_r L_m & w_r L_r' & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$w_s = w_r + Pw \quad (10)$$

r_r' : Statora indirgenmiş rotor direnci (Ohm)

L_m : Makinanın mıknatıslanma endüktansı (H)

L_r' : Rotor faz endüktansının dönüşümler uygulanmış ve statora indirgenmiş değeri (H)

w_s : Stator akımları açısal frekansı (rd/sn)

w_r : Rotor akımları açısal frekansı (rd/sn)

w : Motor milinin açısal frekansı (Rotor mili açısal hızı) (rd/sn)

Rotor Akıları Kullanılarak Oluşturulan dq Motor Modeli

Asenkron makinelerin kontrol uygulamalarında rotor akımları yerine rotor akılarının kullanımı daha kolay ve az masraf gerektirir. Bunu gerçeklemek için rotor akıları ve akımları arasındaki bağıntı kullanılarak yukarıdaki denklemlerdeki rotor akımları, akı değişkenleri cinsinden yazılabilir. Bunun için öncelikle rotor akı denklemlerini yazalım.

$$\varphi_{rd} = L'_{rr}i_{rd} + L_m i_{sd} \quad (11)$$

$$\varphi_{rq} = L'_{rr}i_{rq} + L_m i_{sq} \quad (12)$$

Bu denklemlerden i_{rd} ve i_{rq} ifadeleri çekilirse:

$$i_{rd} = \frac{\varphi_{rd} - L_m i_{sd}}{L'_{rr}} \quad (13)$$

$$i_{rq} = \frac{\varphi_{rq} - L_m i_{sq}}{L'_{rr}} \quad (14)$$

Rotor akıları için bulunan bu bağıntılar yukarıdaki denklemlerde ve makinanın oluşturduğu elektriksel moment ifadesinde yerine yazılırsa asenkron makinanın senkron hızda ve rotor akıları kullanılarak dq eksenindeki modeli elde edilir.

$$\begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s + \sigma L_{ss} p & -w_s \sigma L_{ss} & \frac{L_m}{L'_{rr}} p & -\frac{L_m}{L'_{rr}} w_s \\ w_s \sigma L_{ss} & r_s + \sigma L_{ss} p & \frac{L_m}{L'_{rr}} w_s & \frac{L_m}{L'_{rr}} p \\ -r'_r \frac{L_m}{L'_{rr}} & 0 & \frac{r'_r}{L'_{rr}} + p & -w_r \\ 0 & -r'_r \frac{L_m}{L'_{rr}} & w_r & \frac{r'_r}{L'_{rr}} + p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\sigma L_{ss} = L_{ss} - \frac{L_m^2}{L'_{rr}} \quad (16)$$

$$M_e = P \frac{L_m}{L'_{rr}} (i_{sq} \varphi_{rd} - i_{sd} \varphi_{rq}) \quad (17)$$

Bu motor modeline makinanın mekanik denklemi aşağıdaki şekilde eklenebilir.

$$\frac{dw}{dt} = \frac{P}{J} \frac{L_m}{L'_{rr}} (i_{sq} \varphi_{rd} - i_{sd} \varphi_{rq}) - \frac{B}{J} w - \frac{1}{J} M_L \quad (18)$$

J : Atalet momenti (kg.m²)

B : Sürtünme katsayısı (N.m.sn/rd)

M_L : Motor miline uygulanan yük N.m

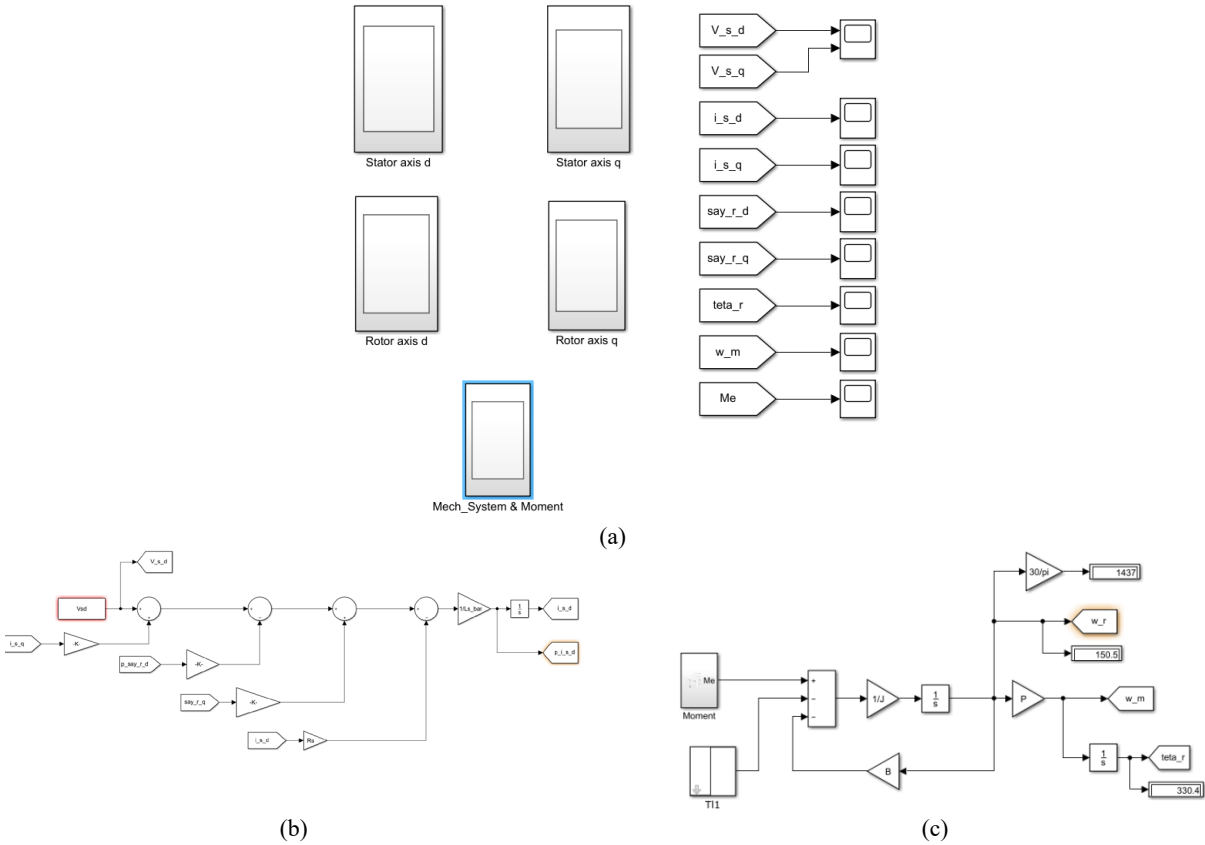
3 Fazlı Bir Asenkron Makinenin dq Eksenindeki Modelinin Matlab /Simulink ile Simulasyonu

3 fazlı rotorlu sargılı bir asenkron makinanın senkron hızda dönen dq eksen takımında rotor akıları kullanılarak simulasyonu Matlab/Simulink kullanılarak geliştirilmiştir. Simulasyon için literatürde değerleri verilen bir

asenكرون makinanın parametreleri kullanılmıştır. Bu makina parametreleri Tablo 1’de verilmiş ve geliştirilen Matlab/Simulink programı Şekil 3’te gösterilmiştir

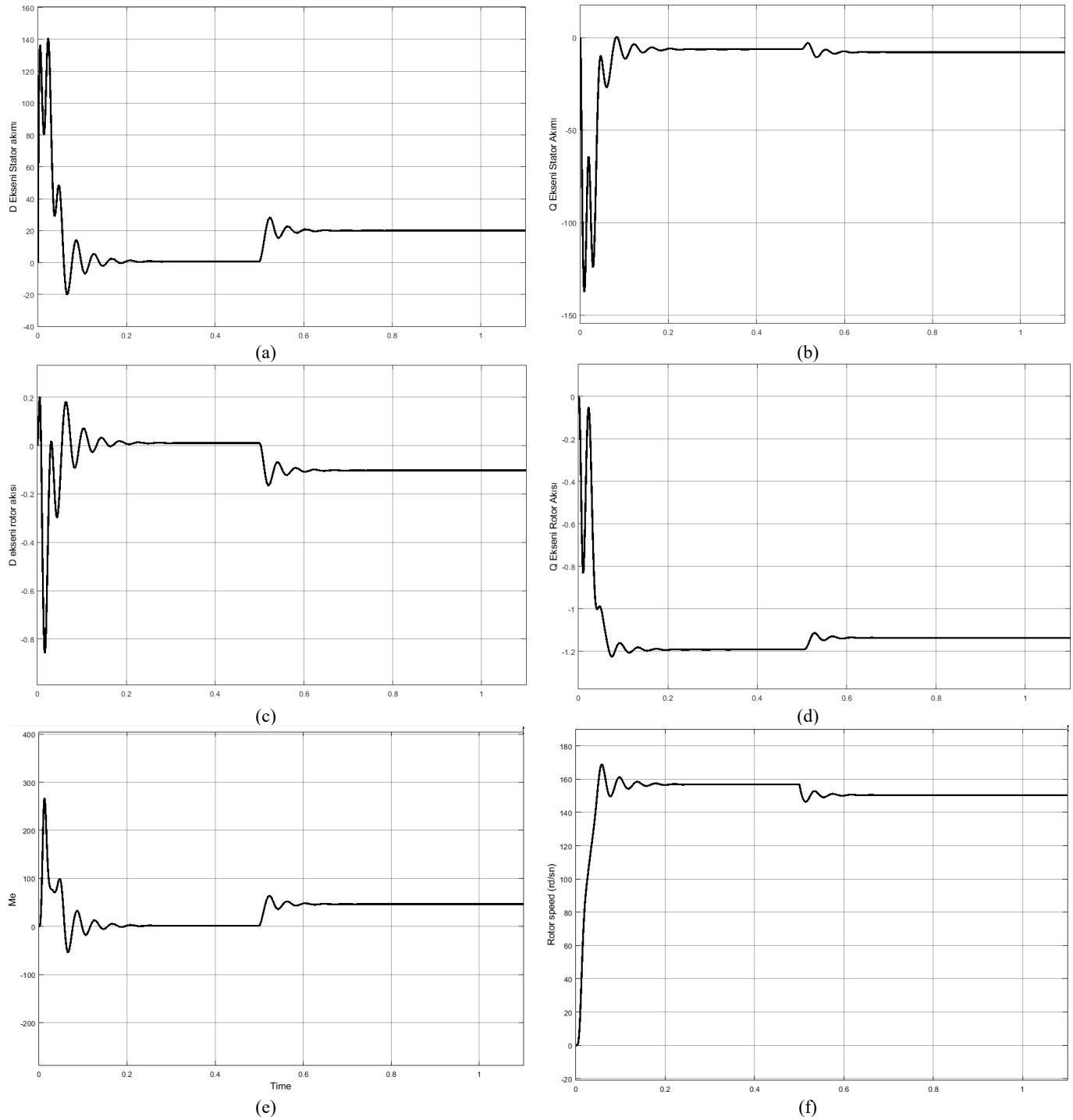
Tablo 1: Asenkron motorun parametreleri

Kaynak gerilimi (rms V)	220
Kaynak frekansı (Hz)	50
Kutup çifti sayısı	4
Stator faz direnci (Ω)	0.73
Statora indirgenmiş rotor direnci (Ω)	0.74
Stator kaçak endüktansı (mH)	3
Statora indirgenmiş rotor kaçak endüktansı (mH)	3
Mıknatıslanma endüktansı (mH)	124
Toplam rotor atalet momenti (kg.m^2)	0.0343
Toplam sürtünme moment katsayısı (Nm.sn/rd)	0.01



Şekil 3: (a) Geliştirilen asenkron motor modeli. (b) Stator axis d alt sistemi. (c) Mech_system & Moment alt sistemi.

Simulasyon esnasında motor 0–0.5 saniyeleri arasında boşta döndürülmüş, 0.5-1.1 saniyeleri arasında ise motor miline 45 Nm’lik bir yük uygulanmıştır. Şekil 4 grafiksel olarak i_{sd} , i_{sq} , φ_{rd} , φ_{rq} , M_e ve w ’nun 0-1.1 saniyeleri arasındaki değişimlerini göstermektedir.



Şekil 4: (a) Stator d eksen akımı i_{sd} . (b) Stator q eksen akımı i_{sq} . (c) Rotor d eksen akısı φ_{rd} . (d) Rotor q eksen akısı φ_{rq} . (e) Motorun oluşturduğu elektriksel moment M_e . (f) Motor milinin açisal dönüş hızı ve w .

Şekillerden görüldüğü gibi i_{sd} akımı motor boşa çalışırken 0.2 inci saniyede kararlı değeri olan 0.72 A'ye (yaklaşık sıfır) gelmiştir. Motora 45 Nm yük uygulanan 0.5 inci saniyeden sonra ise 20 A kararlı değerini almıştır. i_{sq} akımının ise karşılık gelen süreler içerisindeki kararlı değerleri olan -6.4 A ve -7.97 A olmuştur. Rotor d eksen akısı φ_{rd} motor boşa çalışırken 0.01 Wb sabit değerini almış, motora yük uygulandıktan sonra ise bu değer -0.103 Wb değerine gelmiştir. φ_{rq} ise bu zaman aralıklarında -1.19 Wb ve -1.135 Wb değerlerini almıştır. Motorun ürettiği elektriksel moment motor boşa çalışırken sürtünmeden dolayı 1.6 Nm oluştur. Motora 45Nm yük uygulandığı 0.5 inci saniyeden sonra ise 46.6 Nm kararlı değerini almıştır. Nihayetinde, rotor milinin mekanik hızı boşa dönerken 157 rd/sn'dir. Bu ise yaklaşık 1500 dev/dk olup 4 kutuplu bir asenkron makinenin boşa dönerken anma hızına karşılık gelmektedir. Motora yük uygulandığında ise bu hız 151 rd/sn değerini almıştır.

SONUÇ

Bu çalışmada 3 fazlı bir asenkron motorun Matlab/Simulink programı kullanılarak dq eksenindeki modellenmesinin simülasyonu yapılmıştır. Bu amaçla önce makinanın senkron hızda ve rotor akıları kullanılarak matematiksel modeli elde edilmiştir. Sonrasında ise bu modele makinanın ürettiği elektriksel moment ifadesi ve makinanın mekanik denklemi eklenerek simülasyon için gereken denklemler oluşturulmuştur. Geliştirilen simülasyon programı başarılı bir şekilde çalışmış ve makina için dq ekseninde gösterimi istenen değişkenler grafiksel olarak şekillerde gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- Sarıoğlu, K., Gökaşan, M., Boğosyan, S.,(2003), “Asenkron Makinalar ve Kontrolü”, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye
- Vas, P. (1990). Vector control of ac machines, Oxford Science Publications, Clarendon Press
- Kingsley C., Fitzgerald A. E. Jr., (2014), “Electric Machinery”, 7thEdt., McGraw Hill Publication, New York, USA.
- Dorf, R. C., Bishop R. H., (2014), “Modern Control Systems”, 12th Edt, Pearson Education, UK.
- Kocabas, D.A., Atalay, A.K., Salman, E., Z. Akcali, Z., (2010), " α - β axes simulation of a drive system driven by two equivalent induction motors", *Proc. EEECS*, pp. 21-24, Nov. 2010, ISBN 978-975-98897-6-0.
- Guo, Z., Zhang, Q., (2018), The Study on Mathematical Model and Simulation of Asynchronous Motor Considering Iron Loss, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1060 (2018) 012085



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 04.12.2019
Kabul Tarihi :30.12.2019

Received Date : 04.12.2019
Accepted Date : 30.12.2019

ADAPTİF PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU (APSO) ve KARINCA KOLONİSİ ALGORİTMASI (KKA) KULLANARAK ÖZ AYARLAMALI PID KONTROLÖR TASARIMI

DESIGN OF SELF TUNING PID CONTROLLER USING ADAPTIVE PARTICULAR SWARM OPTIMIZATION (APSO) and ANT COLONY OPTIMIZATION (ACO)

Oğuzhan KAPUKAYA *¹(ORCID:0000-0003-2551-6364)

Mahit GÜNEŞ ¹(ORCID: 0000-0002-1552-3889)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Oğuzhan KAPUKAYA, kapukaya.oguzhan@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, Adaptif Parçacık Sürü Optimizasyonu (APSO) ve Karınca Kolonisi Algoritması (KKA) kullanarak öz ayarlamalı oransal integral türevsel (PID) kontrolör tasarımı yapılmıştır ve DA (Doğru Akım) Motoru üzerinde test edilmiştir. PID kontrolör elle ayarlandığı zaman, parametrelerinin ayarlanması zor ve sıkıntılıdır, ayrıca iyi bir performans sağlanamaz. Bu yüzden, parametre ayar işlemi aşamasında optimizasyon yöntemleri kullanmak işi kolaylaştırır ve daha iyi performans sağlar. Bu çalışmada PID kontrolörün parametre ayar işlemi, Klasik PID, Adaptif Parçacık Sürü Optimizasyonu (APSO) ve Karınca Kolonisi Algoritması (KKA) algoritması ile yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: PID, Adaptif Parçacık Sürü Optimizasyonu(APSO), Karınca Kolonisi Algoritması(KKA)

ABSTRACT

In this study, Self-tuning proportional integrator derivative (PID) controller design using the adaptive particle swarm optimization (APSO) and Ant Colony Optimization (ACO) algorithm and tested on DA (Direct Current) Motor. When the PID controller is manually set, setting parameters are difficulty and do not have a good performance. Therefore, using optimization methods in the parameter setting process makes the easier and gives better results. In this study, the parameter setting process of the PID controller was performed and compared with classical PID, Adaptive Particle Swarm Optimization (APSO) and Ant Colony Optimization (ACO) algorithm results.

Keywords: PID, Adaptive Particle Swarm Optimization(APSO),Ant Colony Optimization(ACO)

GİRİŞ

DA motorlar birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Basit ve geniş kontrol özellikleri sayesinde, santrifüj pompalar, fanlar ve robot manipülatörleri gibi birçok uygulamada tercih edilmektedir. DA Motorları kontrol etmek için kullanılan farklı kontrol tipleri vardır. PID Kontrolör, LQR Kontrolör, Bulanık Mantık bunlardan birkaçıdır. Endüstriyel uygulamalarda kolay uygulanabilirliği ve etkili oluşu ile en çok kullanılan PID Kontrolördür. PID kontrol cihazının performansı tamamen Oransal, İntegral ve Türev ayarlama işlemine bağlıdır, Elle ayar ile PID kontrolörlerde iyi performans sağlamak konusunda deneyimli personel gerektirir (Alhasan, 2017).PID kontrol cihazının özelliklerini geliştirmek ve parametrelerini ayarlamak için PSO tabanlı PID (Berber Ö., 2016),Karınca kolonisi algoritmasına dayalı PID, Genetik Algoritma tabanlı PID (Nagaraj vd., 2010) ve Yapay Sinir Ağları tabanlı PID (Erdoğan P. vd., 2015)gibi birçok yaklaşım öne sürülmüştür. Parçacık sürüsü optimizasyonu popülasyon tabanlı bir arama algoritmasıdır ve Kuş ve balık sürülerinin hareketlerinden esinlenerek optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Karınca kolonisi algoritması ise doğadaki karıncaların yem arama hareketlerinden esinlenerek geliştirilmiştir. Bu iki çalışmada PID kontrolörün optimizasyonu amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, DA motor

için matematiksel bir modelleme yapılmış ve Klasik PID, Adaptif parçacık sürü optimizasyonu ve Karınca kolonisi algoritması için model üzerinde sistem tepkisi incelenmiş ve performans araştırmaları yapılmıştır.

DA MOTOR MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Bu Model de DA Motor dinamikleri idealdir; Örneğin, Manyetik alanın sabit olduğu varsayılır. Şekil 1 Atalet yükü ile sürülen ayrı uyarılmış DA Motorun şematik diyagramını göstermektedir. DA Motor tarafından üretilen T_m torku, uygulanan voltaj tarafından indüklenen armatür akımı(i) ile orantılıdır.

$$T_m(t) = K_m i(t) \quad (1)$$

Sembol K_m , armatür sabitidir. Geri elektromotor kuvveti V_{emf} , milin açısal hızına orantılı bir gerilimdir.

$$V_{emf}(t) = K_b w(t) \quad (2)$$

Emf sabiti olan K_b , Newton denklemleri tarafından türetilen Motor denkleminin mekaniksel kısmıdır.

$$J \frac{dw}{dt} = -K_f w(t) + K_m i(t) \quad (3)$$

Burada K_f viskoz sürtünme için doğrusal bir yaklaşımdır. Aşağıdaki denklem, motorun elektrik kısmını açıklar.

$$V_{app}(t) - V_{emf}(t) = L \frac{di}{dt} + Ri(t) \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemleri basitleştirdikten sonra, Motor dinamiklerini tanımlayan iki diferansiyel denklem elde ettik.

İlki indüklenen armatür akımı için,

$$\frac{di}{dt} = -\frac{R}{L} i(t) - \frac{K_b}{L} w(t) + \frac{1}{L} V_{app}(t) \quad (5)$$

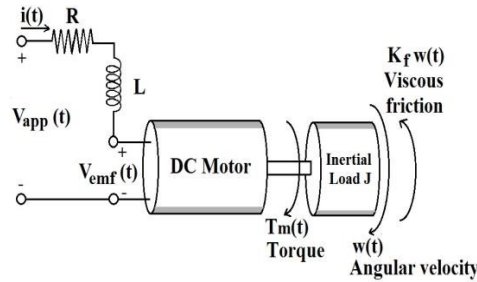
İkinci denklem açısal hız için,

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{K_f}{J} w(t) + \frac{K_m}{J} i(t) \quad (6)$$

Yukarıdaki (5) ve (6) numaralı denklemler DA Motor sisteminin dinamiklerini göstermektedir. DA Motorun Durum Uzay sisteminin temsili iki lineer diferansiyel denklemden elde edilir. İndüklenen armatür akımı(i) ve Açısal hız(w) durum değişkenleridir. Uygulanan gerilim V_{app} sistem girişi, Açısal hız w ise sistem çıkışıdır.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{K_b}{L} \\ \frac{K_m}{J} & -\frac{K_f}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_{app}(t) \quad (7)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} V_{app}(t) \quad (8)$$



Şekil 1. Atalet Yükü ile Sürülen Yabancı Uyarılmış DA Motorun Şematik Diyagramı

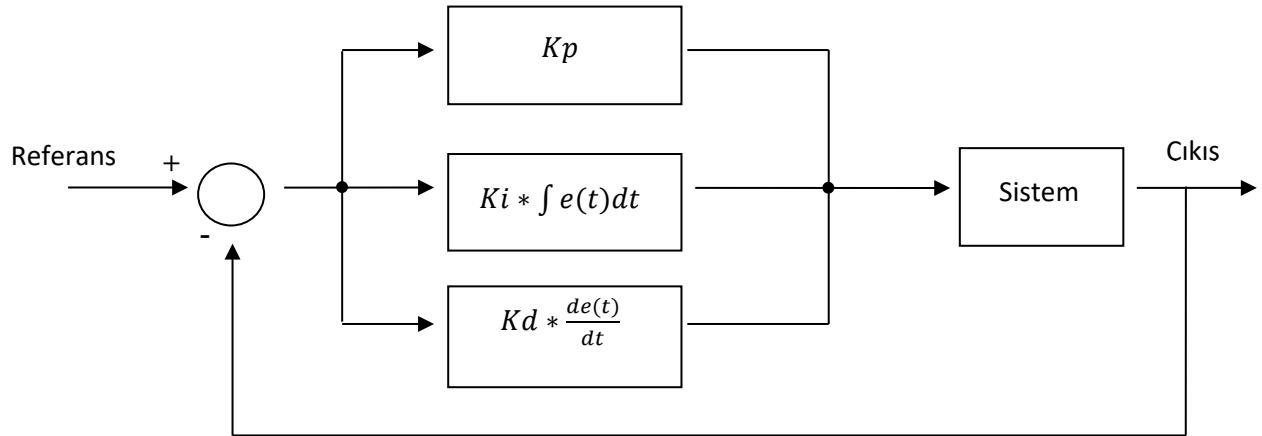
Simülasyonda kullanılan DA Motor parametre ve katsayılar Tablo 1 içerisinde.

Tablo 1. Yabancı Uyarımlı DA Motor Modelinin Parametreleri

Parametreler	Sembol	Değer	Birim
Armatürdirenci	R	2	Ω
Armatür İndüktansı	L	0.5	Henry
ArmatürSabit	K_m	0.1	-
EMF Sabiti	K_b	0.1	-
SürtünmeKatsayısı	K_f	0.2	N.m.s
EylemsizlikMomenti	J	0.02	$Kg.m^2$

PID KONTROLÖR

PID yaygın olarak kullanılan geri beslemeli bir kontrol yöntemidir. Kontrolör ve sistemin genel yapısı Şekil 2’de verilmiştir. Denetlenecek sistemin çıkışı ile kontrolörün girişi olan referans değer farkı hata olarak hesaplanır. Hata K_p parametresiyle, hatanın türevi K_d parametresiyle, hatanın integrali K_i parametresiyle çarpılarak elde edilen değerlerin toplamı sisteme giriş olarak uygulanır. Sistemin çıkışı tekrar referans değer ile karşılaştırılarak yeni bir hata değeri hesaplanır ve kontrolörün üreteceği yeni çıkış sisteme giriş olarak uygulanır. Bu işlemler hata sıfır olana kadar devam eder. Kontrolörün K_p , K_d ve K_i parametreleri sisteme özeldir ve bu parametreleri belirlemek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Kullanılan en klasik yöntem Ziegler-Nichols yöntemidir (Ziegler ve Nichols, 1993).

**Şekil 2.** PID Kontrolör Kontrol Şeması

Aşağıdaki denklemde ise PID kontrolörün matematiksel modeli görülmektedir.

$r(t)$ =Referans Giriş, $y(t)$ =Çıkış

$e(t)=y(t) - r(t)$

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (9)$$

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU(PSO) ALGORİTMASI

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) 1995’te Dr. Eberhart ve Dr. Kennedy tarafından geliştirilmiş popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniğidir. Kuş veya balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiştir (Alhasan H., 2017).

Parçacık Sürü Optimizasyonunda öncelikle rastgele belirlenmiş olan olası bir çözüm kümesi oluşturulur. Burada oluşturulan çözüm kümesinin her satırı bir parçacığı her sütunu ise sürüyü oluşturmaktadır. Burada oluşturulan k matrisi aslında rastgele belirlenmiş K_p , K_i ve K_d değerleridir.

$$k = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Bu kümenin her bir elemanı optimize edilecek sisteme uygulanır ve parçacıkların en iyisi olan “*pbest*” ve sürünün en iyisi olan “*gbest*” hesaplanır. Üç adet parametreden oluşan n adet parçacık için popülasyon matrisi yukarıdaki gibi ifade edilir. Matrise göre, i. parçacık aşağıdaki gibi gösterilir.

$$k_i = |k_{i1} \quad k_{i2} \quad k_{i3}| \quad (11)$$

$$Pbest_i = |P_{i1} \quad P_{i2} \quad P_{i3}| \quad (12)$$

$$gbest_i = |P_1 \quad P_2 \quad P_3| \quad (13)$$

i'inci parçacığın her konumdaki değişim miktarını gösteren hız vektörü aşağıdaki gibi ifade edilir.

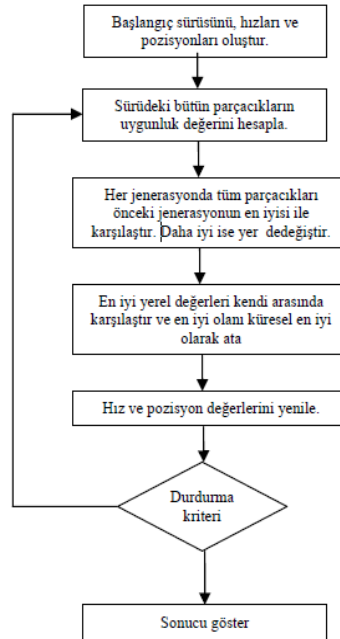
$$V_i = |V_{i1} \quad V_{i2} \quad V_{i3}| \quad (14)$$

İlk iterasyonda her bir parçacığın en iyisi olan “*pbest*” kendisine eşit olmaktadır. Buradan elde edilen en iyi değere karşılık gelen parçacık “*gbest*” olarak seçilir. Bu iki en iyi değer bulunduktan sonra; parçacık, hızını ve konumu sırasıyla aşağıdaki (14) ve (15) denklemlerine göre güncellenir. Yeni konum değerleri elde edildikten sonra bu değerler kullanılarak tekrar başa dönülür ve uygunluk değerleri hesaplanıp, “*pbest*” ve “*gbest*” değerleri güncellenir. Sonlanma şartı sağlanıncaya kadar işlemlere devam edilir (Doğmuş vd.,2017; Develi, 2004).

$$V_i^{k+1} = V_i^k + c_1 * rand_1^k * (pbest_i^k - X_i^k) + c_2 * rand_2^k * (gbest^k - X_i^k) \quad (15)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (16)$$

Burada $rand(0-1)$ arasında rastgele üretilen bir sayıyı, i parçacık numarasını, k ise iterasyon sayısını gösterir. c_1 ve c_2 öğrenme faktörleridir. Bunlar parçacıkları *pbest* ve *gbest* konumlarına doğru yönlendiren sabitlerdir. c_1 parçacığın kendi tecrübelerine göre, c_2 ise sürüdeki diğer parçacıkların tecrübelerine göre hareketi yönlendirir. Düşük değerler seçilmesi parçacıkların hedef bölgeye doğru çekilmeden önce, bu bölgeden uzak yerlerde dolaşmalarına imkân verir. Ancak hedefe ulaşma süresi uzayabilir. Diğer yandan, yüksek değerler seçilmesi, hedefe ulaşmayı hızlandırırken, beklenmedik hareketlerin oluşmasına ve hedef bölgenin es geçilmesine sebep olabilmektedir.



Şekil 3.PSO Akış Diyagramı

ADAPTİF PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Kennedy ve Eberhart tarafından Parçacık sürüsü ilk gelişmesinden bu yana, araştırmacılar tarafından optimizasyon algoritmasını geliştirmek için yöntemler önerilmiştir. Yapılan çalışmalar ışığında atalet ağırlığı(w)nın küresel arama

yeteneği ve yerel arama yeteneği arasındaki dengede kilit rol oynadığı anlaşılmıştır. Atalet ağırlığı(w) yükseldiğinde küresel arama yeteneği güçlenmekte fakat yerel arama yeteneği zayıflamaktadır. Atalet ağırlığı(w) düşürüldüğünde ise tam tersi gerçekleşmekte küresel arama yeteneği zayıflamakta, yerel arama yeteneği güçlenmektedir. Aradaki bu denge PSO algoritmasının performansını artırmaktadır.

Eberhart ve Shi (Eberhart ve Shi, 2001), rastgele atalet ağırlığı stratejisini önerdiler ve deneysel olarak bu stratejinin PSO algoritmasını daha hızlı yakınsadığını keşfettiler.

$$w = 0.5 + \frac{rand()}{2} \quad (17)$$

Doğrusal olarak azalan strateji(Xin, J., ve ark. 2009), PSO nun performansını ve verimliliğini artırır. Deneysel olarak atalet ağırlığının 0.9 dan 0.4 e düşürülmesinin optimizasyon sonuçlarına katkı sağladığı keşfedilmiştir.

$$w_k = w_{max} - (w_{max} - w_{min}) \times \frac{iter}{iter_{max}} \quad (18)$$

Çalışmada kullanılan strateji, parçacıkların başarısına dayalı atalet ağırlığı güncelleme yöntemidir. (Berber Ö., 2016),

$$\lambda_{1,i}^K = \frac{1}{1 + e^{\alpha(F_{p,i}^K - F_{pbest,i}^K)}} \quad (19)$$

$$\lambda_{2,i}^K = \frac{1}{1 + e^{\alpha(F_{pbest,i}^K - F_{gbest}^K)}} \quad (20)$$

$$w_i^K = w_{max} - (w_{max} - w_{min}) \times (\lambda_{1,i}^K + \lambda_{2,i}^K) \quad (21)$$

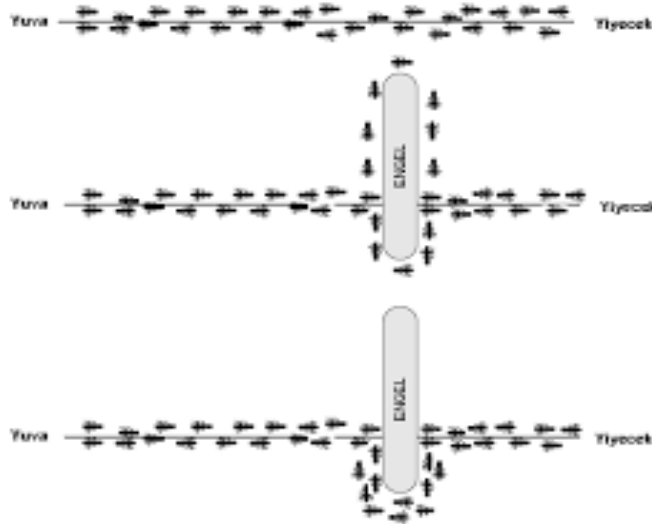
λ_1 ve λ_2 değerleri sürünün optimum sonuca yakınsama ve uzaklaşma durumunu kontrol etmektedir. α katsayı ise sigmoid fonksiyonun dikliğini ayarlanmaktadır. $\alpha < 1$ olması öngörülmüş ve $\alpha = 0,1$ olarak belirlenmiştir.

PSO algoritmasında parçacıkları değerlendirmek için hataların mutlak değerleri toplamı(IAE) fonksiyonu kullanılmıştır. IAE formülü ise;

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (22)$$

KARINCA KOLONİSİ ALGORİTMASI

KKA algoritması, gerçek karıncaların yuvaları ile yiyecek noktaları arasındaki en kısa yolu bulma kabiliyetlerinden esinlenilerek geliştirilmiştir. Alternatif yolların söz konusu olduğu durumlarda karıncalar, öncelikle bu yollara eşit olasılıkla dağılırken belli bir süre sonra en kısa olan yolda yoğunlaşmaktadır. Zaman geçtikçe tüm karıncaların en kısa olan yolu kullandıkları görülmektedir (Şekil 4). Bunu yaparken önceki geçişlerden yollarda kalan feromon izlerinden faydalanmaktadırlar. Temel kural, feromon miktarının yoğun olduğu yolun tercih edilme olasılığının yüksek olmasıdır. Görme duyuları çok gelişmemiş olan karıncalar yol tercihlerini feromon izlerine göre yapmaktadırlar.



Şekil 4. Karıncaları En Kısa Yolu İzlemesi

Kısa olan yolda feromon miktarı uzun yollara nispeten daha fazla birikmektedir. Kısa olan yoldan geçiş daha hızlı gerçekleşeceğinden, birim zamanda geçiş yapan karınca sayısı uzun yola göre daha fazla olacaktır. Dolayısıyla herhangi iki düğüm arasındaki yol üzerinde bulunan feromon miktarı, yolun uzunluğuyla ters orantılıdır.

Karıncalar kolonisi algoritmasında yol tercihi belli bir olasılığa bağlı olarak iki şekilde gerçekleştirilir: İlk seçenek q_0 olasılıkla feromonun en yoğun olduğu yolun seçilmesidir. q_0 parametresi genellikle % 90 olarak belirlenir. $\tau(i,j)$ i ve j noktaları arasındaki feromon miktarı, seçilebilirlik parametresi $\eta(i,j)$, i ve j noktaları arasındaki mesafenin tersi $(1/\delta(i,j))$, α ve β ayarlanabilir parametreler olmak üzere, i noktasında bulunan bir karıncanın gideceği nokta aşağıdaki gibi seçilmektedir:

$$j = \max_{u \in J_k(i)} \left\{ [\tau(i,u)]^\alpha \times [\eta(i,u)]^\beta \right\} \quad \text{eğer } q \leq q_0 \quad (23)$$

İkinci seçenek ise gidilmesi mümkün olan yollardan birini, yollardaki feromon izleriyle orantılı olarak seçmektir. Bu şekilde yol seçimi olasılığı $(1-q_0)$ oranındadır. $J_k(i)$, i noktasındaki karıncanın gidebileceği noktalar yani ziyaret edilmemiş şehirleri temsil eder. Tüm şehirler için seçilme olasılıkları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$p_k(i,j) = \begin{cases} \frac{[\tau(i,j)]^\alpha \times [\eta(i,j)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(i)} [\tau(i,u)]^\alpha \times [\eta(i,u)]^\beta} & \text{eğer } j \in J_k(i) \\ 0 & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad (24)$$

Karıncalar Kolonisi Algoritmasında feromon yenilemesi yerel ve küresel olmak üzere iki kısımda gerçekleşmektedir. Çözüm uzayındaki bir yol üzerindeki toplam feromon düzeyi; yerel ve küresel feromon düzeyinin toplamından oluşmaktadır.

Yerel feromon güncellemesi;

$\tau(i,j)$, t iterasyonuna kadar biriken feromon düzeyi, $\Delta\tau_{ij}^k(t+1)$ t iterasyonundaki feromon düzeyi ve ρ $0 \leq \rho \leq 1$ feromon buharlaşma parametresi olmak üzere yerel feromon düzeyi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\tau(i,j)(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t+1) \quad (25)$$

$\sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t+1)$, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t+1) = \begin{cases} 1/L^k(t+1) & \text{k karıncası (i, j) \\ & \text{yolunu kullanmışsa,} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (26)$$

$L^k(t+1)$ karıncasının toplam tur uzunluğudur. Yerel feromon güncellemesi, turları dinamik olarak değiştirerek geçiş yapılan yolları cazip hale getirir. Karıncalar değişen feromon miktarlarına bağlı olarak her iterasyonda turlarını da değiştirmektedirler. Böylelikle sürekli olarak daha kısa turları bulmak amaçlanmaktadır.

KKA' da, küresel feromon güncellemesi, geçerli iterasyondaki en iyi sonuca sahip karıncanın izlediği yolun feromon düzeyinin artırılmasından oluşur ve iterasyonlarda bulunan en iyi sonuçların belli bir oranda ileriki iterasyonlara aktarılmasını sağlar.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^k(t+1) \quad (27)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t+1) = \begin{cases} \frac{1}{L_{best}(t+1)} & (i, j) \text{ en iyi tura ait ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (28)$$

$L_{best}(t+1)$ geçerli iterasyonda bulunan en iyi turun uzunluğudur.

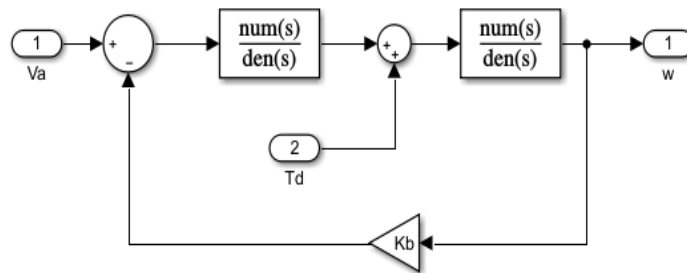
q_0 değeri en iyi çözümün sonraki iterasyonlara aktarılması olasılığını belirleyen parametredir.

α değeri ilgili yolun feromon miktarının önemini belirler ve önceki iterasyonların sonuçlarının ilerleyen iterasyonlara aktarılmasını temin eder. α değerinin yüksek olması feromonun yoğun olduğu yolların seçilme olasılığını artırırken tesadüfiliği azaltmaktadır.

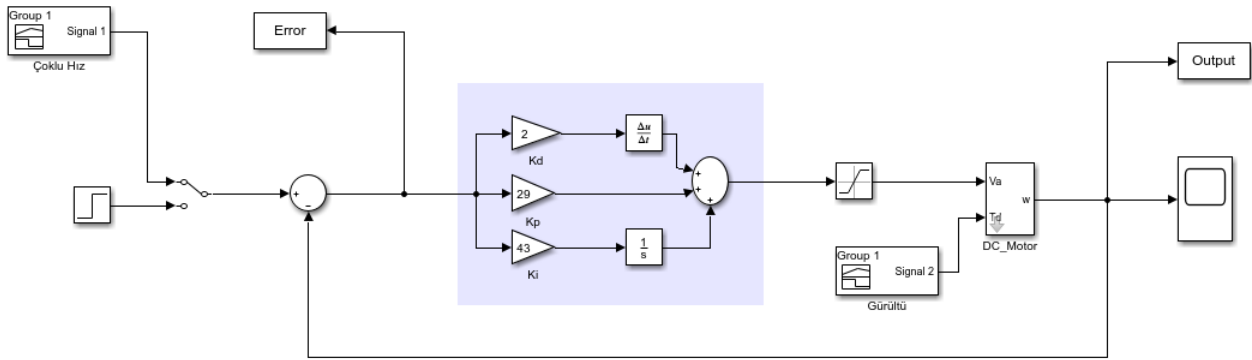
β değeri ise yol uzunluklarının, bir sonraki noktanın seçimindeki etkisini belirlemektedir. β değeri arttıkça bir sonraki yolun seçiminde tesadüfilik artmaktadır. β 'nin düşük olması ise alternatif çözümlerin araştırılması ihtimalini azaltır (Keskin Türk vd., 2006).

SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu bölümde, DA Motorun PID kontrolör ile kontrolü için 3 farklı yöntem uygulanmış ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. PID kontrolör, analiz edilen yöntemler neticesinde bulunan, optimum pid kazanç parametrelerine göre tasarlanmıştır. Uygulanan yöntemlerin sonucunda elde edilen K_p , K_i ve K_d parametreleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. PID kontrolör ve DA Motor Matlab/Simulink ile modellenmiştir. Şekil 5 te DA motor modeli gösterilmiştir. Şekil 6 da ise sistemin modeli gösterilmiştir. Bu model üzerinde üç farklı optimizasyon test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. DA Motor Simulink Modeli



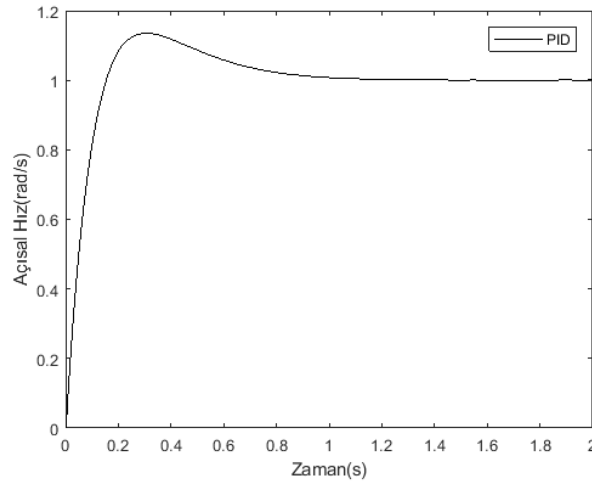
Şekil 6. Uygulanan Sistem Simulink Modeli

Simülasyon sonuçlarında sistemin optimum sonuca ulaşması için elde edilen PID parametreleri Tablo2 deki gibidir.

Tablo 2. Optimizasyon Yöntemleri Neticesinde Elde Edilen PID Parametreleri

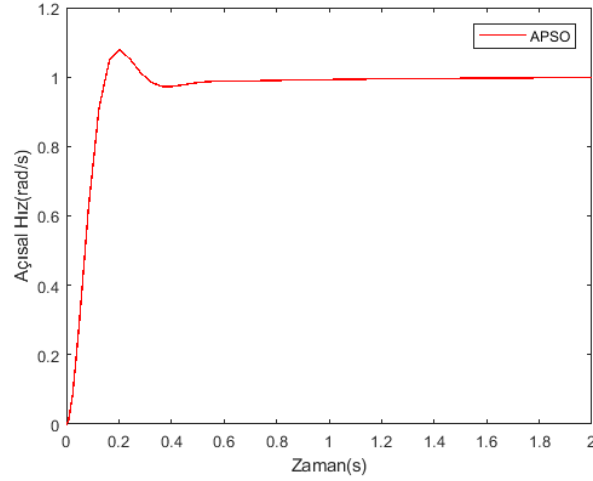
	K_p	K_i	K_d
PID	750	2467	57
APSO	365.68	61.135	1.079
KKA	47	49	2

Test edilen ilk method, Klasik PID algoritmasıdır. DA Motor sistem modelinin Klasik PID kontrolcüsü ile tasarlanan zamana bağlı açısal hız grafiğın Şekil 7 deki gibidir.



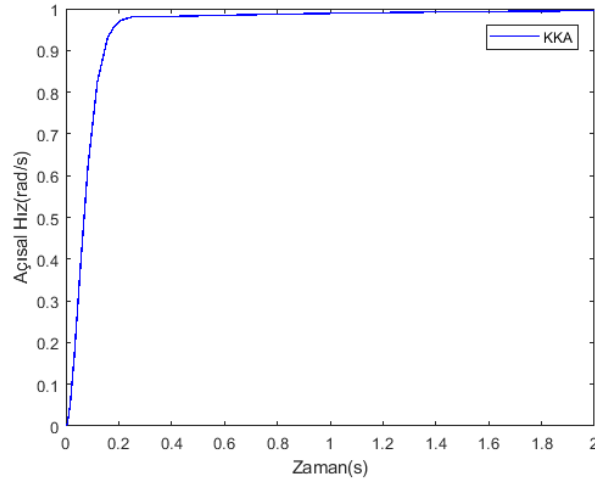
Şekil 7. Klasik PID Denetleyicili DA Motor Sisteminin Zamana göre Açısal Hız Tepkisi

İkinci yöntem Adaptif PSO, bu yöntem de w değerleri her iterasyon içerisinde parçacıkların başarısına bağlı olarak güncellenmektedir. Eylemsizlik ağırlığı w denklem (19) a göre belirlenmektedir. Hızlanma katsayıları c_1 ve c_2 '2' olarak ayarlanmıştır. DA Motor modelinin zamana bağlı tepkisi Şekil 8 deki gibidir.



Şekil 8. APSO PID denetleyicili DA Motor Sisteminin Zamana göre Açısal Hız Tepkisi

Son yöntem olarak KKA uygulanmıştır, Uygulanan algoritmada $\alpha = 0.8$, $\beta = 0.2$ ve buharlaşma katsayısı $\rho = 0.7$ olarak alınmıştır. DA motor modelinin zamana bağlı tepkisi Şekil 9daki gibidir.



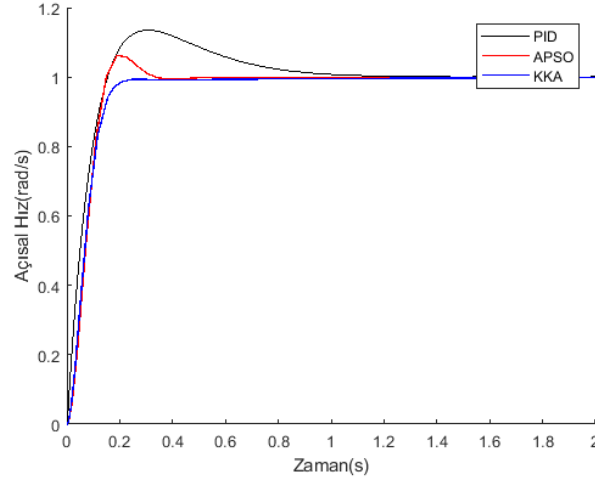
Şekil 9. KKA PID denetleyicili DA Motor Sisteminin Zamana göre Açısal Hız Tepkisi

Ayar işlemi PID, APSO ve KKA ile yapılan PID denetleyicili DA Motor sisteminin zaman tepkisi Tablo 3 deki gibidir;

Tablo 3. DA Motorun Açısal Hızının Zaman Tepkisi Özellikleri

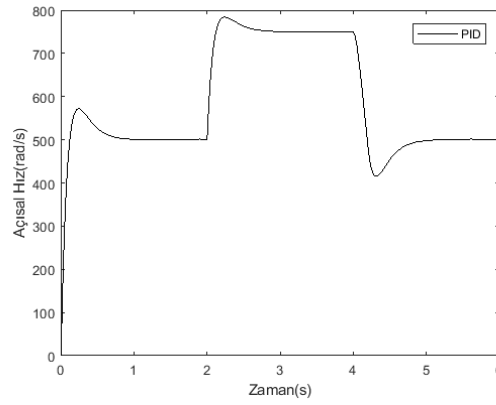
	Klasik PID	Adaptif PSO	Karınca Kolonisi Algoritması
YükselmeZamanı(s)	0.111	0.096	0.123
YerleşmeZamanı(s)	1.820	0.464	0.247
Aşım(%)	13.473	7.876	0
Kalıcı durum hatası	0.04	1.41	1.95

Üç yöntemin kıyaslamalı gösterimi Şekil 10 da görülmektedir.

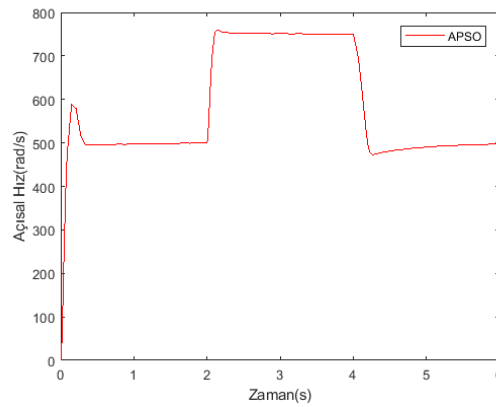


Şekil 10. Üç Yöntem ile Optimizasyon Sonucunun Kıyaslamalı Gösterimi

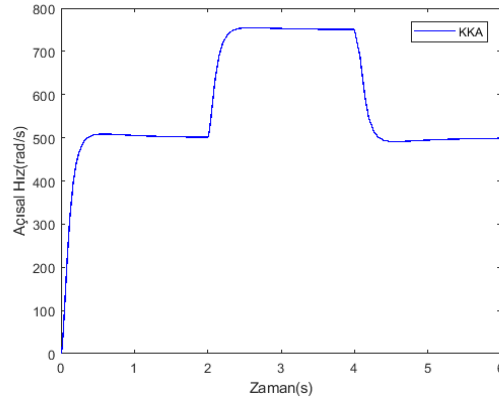
Kullanılan yöntemlerin iki farklı hız üzerindeki tepkisi incelenmiştir. İlk 2 sn. de hız 500 rad/s iken 750 rad/s ye çıkarılmış, 4. sn de ise tekrar 500 rad/s ye düşürülmüştür. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.



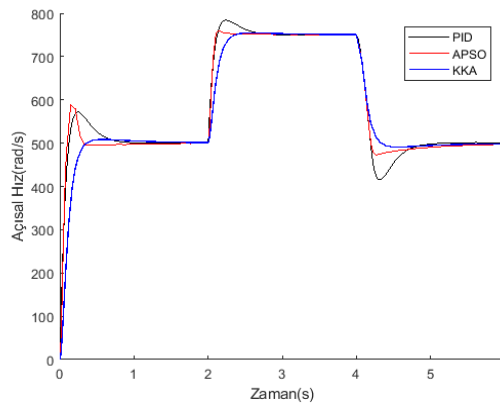
Şekil 11. Klasik PID Denetleyicili Sistem Tepkisi



Şekil 12. APSO PID Denetleyicili Sistem Tepkisi



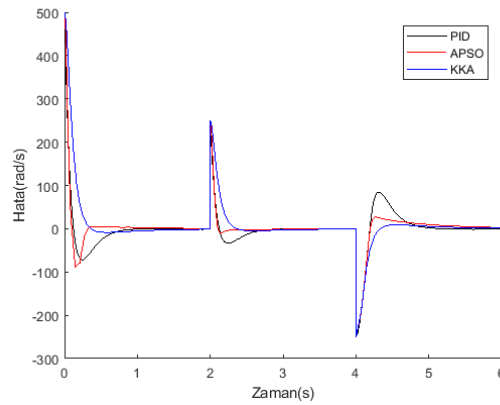
Şekil 13. KKA PID Denetleyicili Sistem Tepkisi



Şekil 14. Üç Yöntem Karşılaştırmalı Sistem Tepkisi

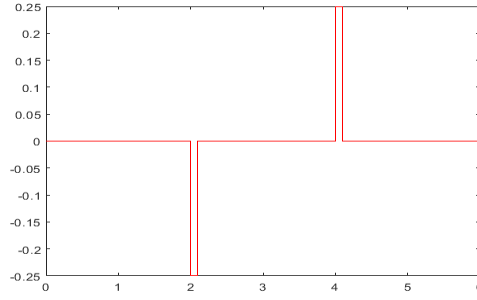
Tablo 4. DA Motorun Açısal Hızının İkili Hız Kalıcı Hal Hataları

Kalıcı Hal Hatası (%)	Klasik PID	Adaptif PSO	KarıncaKolonisi Optimizasyonu
0-2 sn.	0	0	0
2-4 sn.	0.46	0.3	0.08
4-6 sn.	0.1	0.04	0.24

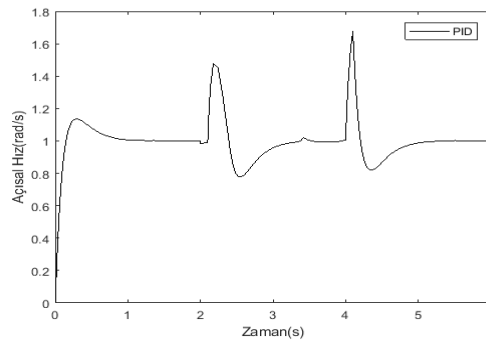


Şekil 15. Üç Yöntem Karşılaştırmalı Çoklu Hız Sistem Hatası

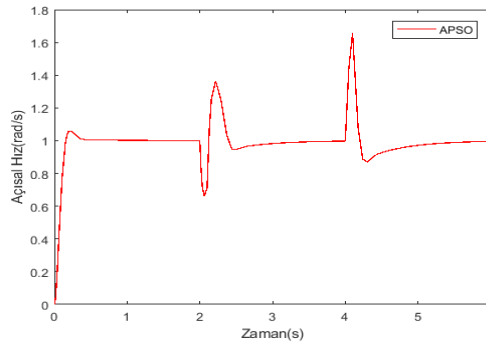
Uygulanan 3 farklı methodun Şekil 16 daki bozucu etkiye karşı sistem tepkisi test edilmiştir ve sonuçlar aşağıdaki gibidir. Bozucu giriş DA motora uygulanan gürültüyü temsil etmektedir.



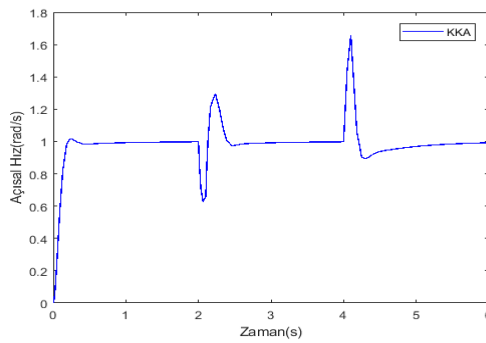
Şekil 16. Sisteme Uygulanan Bozucu Etki



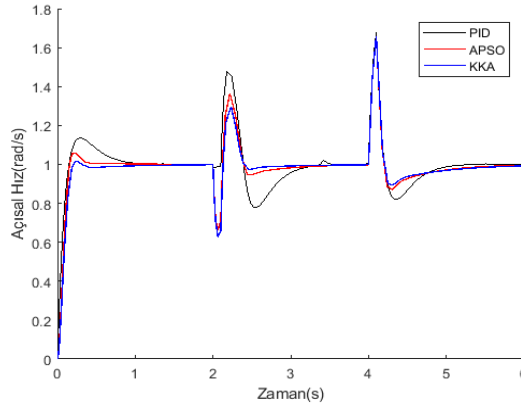
Şekil 17. Klasik PID Bozucu Etki Sistem Tepkisi



Şekil 18. APSO PID Bozucu Etki Sistem Tepkisi



Şekil 19. KKA PID Bozucu Etki Sistem Tepkisi



Şekil 20. Üç Yöntem Bozucu Etki Sistem Tepkisi

SONUÇ

Sistemin optimum sonuca ulaşma aşamasında, basamak girdi testinde, yerleşme zamanı, aşım göz önünde bulundurulduğunda KKA'nın en başarılı optimizasyon olduğu görülmekte fakat kalıcı hal hatasında en başarısız yöntem olduğu görülmektedir.

Çoklu hız testi gözönüne alındığında referans hız değişimlerine KKA kolonisinin daha iyi uyum sağladığı görülmektedir. APSO ve Klasik PID, KKA optimizasyonuna göre daha fazla aşım ve yerleşme zamanı ile sistemi referans hıza ulaştırmaktadır.

Gürültü testi sonucunda ise KKA algoritması diğerleri yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermekte ve sistemi referans değere daha hızlı ve daha az bir aşım ile getirmektedir.

Bu üç testin sonucunda kullanılan yöntemlerin DA Motor hız optimizasyon işleminde başarı sırası KKA, APSO, Klasik PID olarak sıralanmaktadır.

KAYNAKLAR

Açıkgöz H., Gani A., Keçecioglu Ö., Şekeli M., Sıvı Sıcaklık Denetiminde PSO Tabanlı PID Denetleyicinin Başarımının İncelenmesi, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK*.

Açıkgöz H., Keçecioglu Ö., Gani A., Şekeli M. (2014), Speed Control of Direct Torque Controlled Induction Motor By using PI, Anti-Windup PI and Fuzzy Logic Controller, *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*.

Akyol S., Alataş B. (2012), Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları, *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi 1* 36-50.

Alhasan H. (2017), A New Adaptive Particle Swarm Optimization Based on Self-Tuning of PID Controller for DC Motor System, *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 32(3), pp. 243-249.

Berber Ö. (2016), Parçacık Sürü Optimizasyonu ve PID ile Mobil Robotun Optimum Yörünge Kontrolü, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 167-168.

Cücü G. (2010), Yenilenen Parçacıklı Sürü Optimizasyonu ile PID Parametrelerinin Ayarlanması, *Politeknik Dergisi Cilt:13 Sayı: 2* s. 83-92.

Çavuşlu M., Karakuzu C., Şahin S. (2010), Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması ile Yapay Sinir Ağı Eğitiminin FPGA Üzerinde Donanımsal Gerçeklenmesi, *Politeknik Dergisi Cilt:13 Sayı: 2* s. 83-92.

Develi H. (2004), Ziegler Nichols Yöntemi ve Migo Yaklaşımı, *İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, s. 21.

Doğmuş, O, Kılıc, E, Şit, S, Güneş, M. (2017), PSO Algoritması ile Optimize Edilmiş PID Denetleyicinin Fotovoltaik MPPT Sistemine Uyarlanması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (4), 1-8.

Eberhart, R.C., Shi, Y. (2001), Tracking and Optimizing Dynamic Systems With Particle Swarms, *In Evolutionary Computation*. vol. 1, 94-100.

Erdoğan P., Yalçın E. (2015), Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Kısıtsız Optimizasyon Test Problemlerinin Çözümü, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 4(1), 14-22.

Erkol H. (2017), GA ve PSO ile Kontrol Parametrelerinin Optimizasyonu, *Karadere Fen ve Muh. Derg.*, 7(1):179-185.

Erol H., GA ve PSO ile Kontrol Parametrelerinin Optimizasyonu, *Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü*, Karabük, Türkiye.

Gani A., Keçecioglu Ö., Açıkgoz H., Kuyumcu M., Kapalı Bir Ortamdaki Sıvının Sıcaklık Denetiminde PID Denetleyicinin Performans Analizi, *Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Çankaya Üniversitesi*.

Iwasaki N., Yasuda K. (2005), Adaptive Particle Swarm Optimization via Velocity Feedback, *IEEE Trans. EIS*, Vol.125, No.6.

Kennedy, J. And Eberhart R. C. (1995), "Particle Swarm Optimization" Proc. IEEE Int'l Conf. On Neural Networks Vol. IV, pp. 1942-1948. *IEEE Service Center, Piscataway, NJ*.

Kesintürk T., Söyler H. (2006), Global Karınca Kolonisi Optimizasyonu, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 21, No 4, 689-69.

Li X, Chen M. And Tsutomu Y. (2013), A Method of Searching PID Controller's Optimized Coefficients for Buck Converter Using Particle Swarm Optimization, *2013 IEEE 10th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)*.

Nagaraj B., Muruganath N. (2010), A Comparative Study of PID Controller Tuning Using GA, EP, PSO and ACO, 978-1-4244-7770-8/10/\$26.00 ©2010 IEEE.

Özsağlam M., Çunkaş M. (2008), Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması, *Politeknik Dergisi Cilt:11 Sayı: 4 s.299-305*.

Shi Y., Particle Swarm Optimization, *Electronic Data Systems, Inc. Kokomo, IN 46902, USA*.

Solihin M. (2011), Tuning of PID Controller Using Particle Swarm Optimization (PSO), *Proceeding of the International Conference on Advanced Science, Engineering and Information Technology*.

Varol H., Bingül Z. (2004), A New PID Tuning Technique Using Ant Algorithm, *Proceeding of the 2004 American Control Conference Boston, Massachusetts June 30 - July 2*.

Xin, J., Chen, G., Hai, Y. (2009), A Particle Swarm Optimizer With Multi-stage Linearly-decreasing Inertia Weight, *In Computational Sciences and Optimization*, 505-508.

Zhan Z., Zhang J., Li Y., Chung H. (2009), Adaptive Particle Swarm Optimization, *Ieee Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part B: Cybernetics, VOL. 39, NO. 6*.



Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 24.10.2019
Kabul Tarihi : 19.12.2019

Received Date : 24.10.2019
Accepted Date : 19.12.2019

TEKSTİL ATIKSUYU VE SENTETİK BOYARMADDE ÇÖZELTİLERİNDEN RENK VE KOİ GİDERİMİNDE ALÜM VE MAGNEZYUM KLORÜRÜN KARŞILAŞTIRILMASI

COMPARISON OF ALUM AND MAGNESIUM CHLORIDE IN COLOR AND COD REMOVAL FROM TEXTILE INDUSTRY WASTEWATER AND SYNTHETIC DYEING SOLUTIONS

Korhan YILMAZ ¹ (ORCID: 0000-0003-3871-6859)

Turan YILMAZ ^{1,*} (ORCID: 0000-0003-1265-7117)

¹ Çukurova Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Turan YILMAZ, tyilmaz@cu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada Adana ilinde faaliyet gösteren iki farklı tekstil endüstrisi atıksuyu ve Basic Blue 41, Basic Blue 3, Vat Green 1, Vat Blue 4, Direct Blue 71 ve Reactive Blue 29 boyarmaddelerini içeren sentetik olarak hazırlanmış çözeltilerde magnezyum flokülasyonunu çalışılarak geleneksel bir koagülant olan alüminyum ile karşılaştırılmıştır. Her iki koagülant için optimum doz çalışılmış olup magnezyum flokülasyonunda pH'nın etkisi araştırılmıştır. Magnezyum flokülasyonunda 11,5 pH değerinde daha etkili sonuç alındığı gözlemlenmiştir. Renk ve KOİ gideriminde ise magnezyum flokülasyonunun alüminyumdan daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca deneysel çalışma verileri Freundlich, Langmuir, Temkin ve Dubinin-Radushkevich adsorpsiyon izoterme modeline adsorpsiyon uyumunu tespit etmek için uygulanmış ve model sabitleri hesaplanmıştır. Modelleme çalışması sonucunda Renk ve KOİ gideriminde adsorpsiyonun da önemli etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: koagülasyon, flokülasyon, adsorpsiyon, magnezyum, renk

ABSTRACT

In this study, magnesium flocculation of textile industry effluents from two factories and synthetic dyes solutions containing Basic Blue 41 (BB41), Basic Blue 3 (BB3), Vat Green 1 (VG1), Vat Blue 4 (VB4), Direct Blue 71 (DB71), and Reactive Blue 29 (RB29) have been studied and the results were compared with alum as conventional coagulant. The effects of pH on magnesium flocculation and optimum dosages for each coagulants have also been investigated. The results showed that pH 11,5 was the most efficient for magnesium flocculation. The color and COD removal efficiencies of magnesium flocculation were found better than those of alum. The data from experimental studies were also applied to Freundlich, Langmuir, Temkin, and Dubinin-Radushkevich adsorption isotherm models and related constants of each model were also calculated in order to determine the effect of adsorption. It was found out that the adsorption played an important role during whole coagulation process for the removal of color and COD.

Keywords: coagulation, flocculation, adsorption, magnesium, color

GİRİŞ

Tekstil endüstrilerinde boyama işlemi süresince önemli miktarda su ve çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır (Cinar ve Demiroz, 2010). Boyama prosesi atık suları kullanılan boyama kimyasallarından kaynaklı olarak renkli olup yüksek pH değerine sahip olabilmektedirler. Ayrıca çözünmüş ve askıda organik maddeler (KOİ/BOİ) bakımından da yüksek içeriğe sahiptirler (Pala & Tokat, 2002). Bu atık sular uygun bir yöntem ile arıtılmadan akarsu, göl ve deniz gibi ortamlara deşarj edildiklerinde sucul ortamı ve bu çevreden faydalanan canlıları olumsuz etkilemektedirler (Marmagne ve Coste, 1996; Gao vd., 2007). Bu atık suların deşarj edildikleri ortamdaki olumsuz

etkilerinin azaltılması için öncelikli olarak bünyesinde bulunan renk parametresinin arıtılması gerekmektedir. Çoğu tekstil endüstrisi atık suyu aerobik biyolojik prosesler ile birlikte fiziksel-kimyasal prosesleri birlikte kullanmaktadır (Marmagne ve Coste, 1996). Literatürde boyama prosesi atık sularından renk giderilmesinde koagülasyon-flokülasyon ve biyolojik prosesler (Robinson vd., 2001; Verma vd., 2012), adsorpsiyon (Hai vd., 2007) ve ileri oksidasyon proseslerinin (Kayranlı, 2011; Gadekar ve Ahammed, 2016) uygulanması ile başarıya ulaşıldığı bildirilmektedir. Bu metotlar arasında hem atıksuyun içeriğinde bulunan kirleticileri hem de renk parametresini birlikte giderebilecek etkin ve ekonomik bir metot bulunmamaktadır (Robinson vd., 2001). Endüstriyel atıksuların arıtılmasında farklı fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri kimyasal oksidasyon teknolojileri mevcuttur. Bu prosesler arasında kimyasal koagülasyon ve flokülasyon prosesi, tekstil endüstrisi atıksuların arıtılmasında maliyet açısından karşılaştırıldığında ön plana çıkmakta olup küçük ve büyük ölçekli endüstrilerde hâlihazırda yaygın olarak kullanılmaktadır (Verma vd., 2012). Alüm, kireç, polialüminyum klorür (PAC) ve ferrik sülfatlar gibi iyi bilinen koagülantlar özellikle aktif, sülfürlü ve indirgenmiş çözülmüş boyaları içeren atıksularda renk gideriminde etkili olmaktadır (Gao vd., 2007). Bununla birlikte literatürde antrakinin, ftalosiyanın, azo ve oksazin yapısına sahip küp, direkt ve reaktif boyar maddelerden kaynaklanan rengin gideriminde geleneksel koagülantların orta seviyede ya da daha az etkili olduğunu bildirmişlerdir (Marmagne ve Coste, 1996).

Zaman içinde tekstil endüstrisi atıksularından renk parametresinin gideriminde daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bu gereksinimi örneklendirmek istersek eğer; (a) halihazırda bu alanda kullanılan birçok pıhtılaştırıcı ve pıhtılaştırıcı yardımcısının bulunması; (b) her bir pıhtılaştırıcı ve yardımcının etkinliğinin bir boyadan/ boya yapısından diğerine önemli ölçüde farklılık göstermesi; (c) atıksu içeren boyaların arıtılması hususunda sistemin işlerliği açısından işletme maliyetinin büyük bir sorun olması; (d) tekstil endüstrisi atıksu özelliklerinin pH, alkalinite, renk, organik içerik, çözülmüş ve süspanse edilmiş içerik bakımından tesisten tesise büyük farklılıklar göstermesi; (e) araştırmacıların çoğunun sentetik boya çözeltileri üzerinde araştırmalar gerçekleştirmiş olması ve gerçek atıksu konusunda çok daha az araştırma yapmış olmaları; (f) proseste oluşan çamurun miktar olarak azaltılmasının sistemin işlerliği ve ekonomik faktörlerden dolayı önem taşıması hususları ön plana çıkmaktadır. Geleneksel pıhtılaştırıcılarla karşılaştırıldığında, magnezyum birkaç nedenden ötürü avantajlı olabilir: (a) Magnezyum klorür diğer pıhtılaştırıcı ve yumaklaştırıcılara göre nispeten ucuz bir malzemedir; (b) pH ile magnezyum klorürün çözünürlüğü değişmekte olup bu avantajı sayesinde atık çamur miktarı azaltılabilmekte ve magnezyumun geri kazanımı ile yeniden kullanımı gerçekleştirilebilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, Adana ilinde faaliyet gösteren iki tekstil fabrikasının atıksuyundan renk gideriminde magnezyum flokülasyonun etkisinin çalışılması ve geleneksel koagülantlar ile boyarmadde çözeltilerinden renk gideriminde magnezyum kullanılması durumunda giderim verimi etkisinin araştırılmasıdır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Bu çalışmada Adana ilinde faaliyet gösteren; T1 ve T2 olarak adlandırılan iki farklı pamuklu tekstil alt kategorisine ait fabrikadan temin edilen atıksular ile birlikte Basic Blue 41 (BB41), Basic Blue 3 (BB3), Vat Gren 1 (VG1), Vat Blue 4 (VB4), Direct Blue 71 (DB71) ve Reactive Blue 29 (RB29) boyar maddelerinden ayrı ayrı hazırlanmış olan çözeltilerde çalışılmıştır. Renk giderimi aşamasında koagülant olarak $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (alüm) ve $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (magnezyum klorür) kullanılmıştır. Boyar madde çözeltileri ise 50 mg/L konsantrasyonunda hazırlanmıştır. Çizelge 1'de T1 ve T2 endüstrilerine ait renk ve KOİ konsantrasyonları ve Çizelge 2'de ise boyar madde başlangıç renk konsantrasyonları yer almaktadır.

Tablo 1. T1 ve T2 Endüstrilerine ait Atıksu Renk ve KOİ Konsantrasyonları

Atıksu	Renk (mg/L Pt)	KOİ (mg/L)
T1	1098	1629
T2	698	1297

Tablo 2. Boyar Madde Çözeltilerinin Başlangıç Renk Konsantrasyonları

Boyar Madde	Renk (mg/L Pt)
VB4	800
VG1	2000

BB3	1380
BB41	1760
RB29	2840
DB71	2700

Metot

Koagülasyon ve Flokülasyon Çalışması

Araştırma altı pedallı karıştırma hızı ayarlanabilen jar test düzeneği (Six Paddle Stirrer-Phipps & Bird Inc.) kullanılarak laboratuvar ortamında (24°C) çalışılmıştır. T1 ve T2 fabrikalarından temin edilen atıksulardan 900 mL alınarak 1 L hacminde beherlere eklenmiştir. Altı adet beher jar test düzeneğine yerleştirilerek uygun dozlar eklenmiş ve 2 dk süre ile 120 devir/dk hızında hızlı karıştırma işlemine, 30 dk süre ile 60 devir/dk hızında yavaş karıştırma işlemine ve son olarak karışım işlemi bitirilerek 30 dk süre ile çöktürme işlemine tabi tutulmuştur.

Pıhtılaştırma-yumaklaştırma işleminde koagülant konsantrasyonları 197 g/L magnezyum klorür ve 50 g/L Alüm stok çözeltileri kullanılarak ayarlanmıştır. Optimum koagülant dozunun belirlenmesi için, alüm ve magnezyum klorür için sırasıyla, 25-450 mg/L ve 50-2000 mg/L arasında değişen miktarlarda koagülantlar kullanılmıştır.

Analitik Metotlar

Çalışmada yapılmış olan Renk ve KOİ ölçümleri sırası ile Standart Yöntemler 2120C ve 5220C [8] metotlarına uygun olarak analiz edilmiştir. Renk ölçümleri yapılırken spektrofotometrik ölçüm yapılmıştır. 450 nm dalga boyunda çalışılmış olup 25 mm ışık yolunda gerçekleştirilmiştir. KOİ ölçümleri ise kuvvetli asidik ortamda (H₂SO₄) gümüş nitrat ve potasyum dikromat kimyasalları kullanılarak 150°C'de gerçekleştirilmiştir.

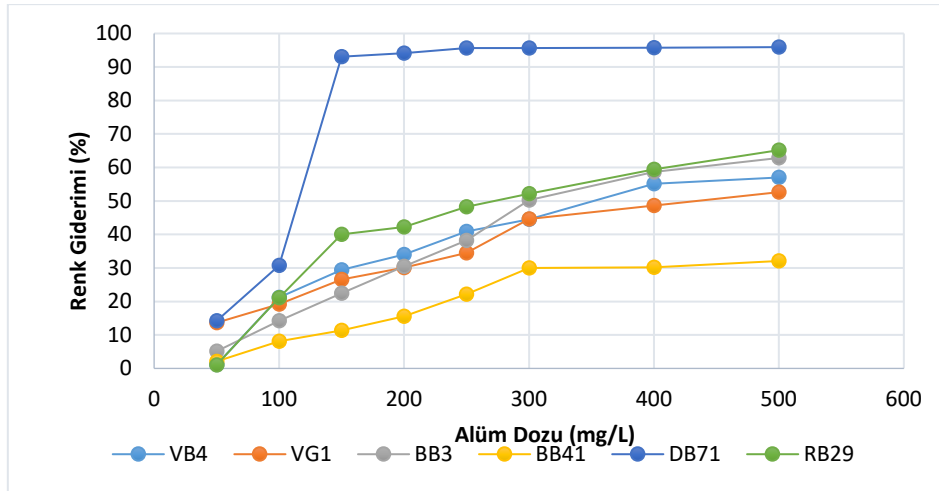
Adsorpsiyon İzotermi

VB4, VG1, BB3, BB41, DB71 ve RB29 boyar madde çözeltileri hazırlanan sentetik çözeltilere ve T1 ile T2 atıksu numunelerine koagülasyon ve flokülasyon işlemi uygulanarak tespit edilen renk ve KOİ giderim verileri yaygın olarak kullanılan Freundlich, Langmuir izoterminin 4 farklı lineer formu, Temkin ve Dubinin izoterm modellerine uygulanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Koagülasyon-Flokülasyon İşlemi ile Boyar Madde Çözeltilerinden Renk Giderimi

Alüm ile BB41, BB3, VG1, VB4, DB71 ve RB29 boyar maddelerinin 50 mg/L çözeltilerinde çalışılmış olup analizler sonucunda hazırlanan renk giderimi grafikleri Şekil 1'de yer almaktadır. Şekil 1.de görüldüğü gibi DB71 boyarmadde çözeltisi dışında diğer tüm boyar maddeler çözeltilerinde renk giderim verimi % 52-65 arasında değişmektedir.



Şekil 1. Alüm Koagülasyonu ile Sentetik Boyar Maddelerden pH 6.5 Değerinde Renk Giderimi

Alüm konsantrasyonunun 50 mg/L olması durumunda DB71 boyar madde çözeltisinde renk giderimi %14,19 olmakta ve alüm miktarının 150 mg/L olarak çalışılması durumunda ise renk giderim veriminin %93,7 olarak artış gösterdiği görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan boyar maddeleri ve koagülasyon flokülasyon yöntemini 1996 yılında kullanan Marmagne ve ark. (1996)'nin ulaştıkları giderim verimleri Tablo 3'te verilmiştir (Marmagne ve Coste, 1996). Marmagne ve ark. (1996), çalışmalarında kullandıkları koagülantı belirtmemiş olsalar da buldukları renk giderme verimlerinin bu çalışmada elde edilen giderim verimlerinden farklı olduğu gözlenmiştir.

Tablo 3. Çeşitli Boyar Maddeler Ve Koagülasyon-Flokülasyon İle Renk Giderimleri (Marmagne ve Coste, 1996)

Boyar Madde	Kimyasal Yapısı	Renk Giderimi (%)
Basic Blue 41.1	Azoic	0.0
Basic Blue 3	Oxazine	0.0
Vat Blue 4	Antraquinone	49.1
Vat Green 1	Antraquinone	52.1

Marmagne ve ark. (1996)'nin çalışmış oldukları BB41, BB3, VB3 ve VB1 boyar maddeleri bu çalışmada da çalışılmış olup VB4 ve VG1 boyar maddeleri için giderim verimleri her iki çalışma için benzerlik gösterirken BB3 ve BB4 için giderim verimleri bu çalışma ile farklılık göstermektedir. BB3 ve BB4 için Marmagne ve ark. (1996)'nin yapmış oldukları çalışmada renk giderimi gerçekleşmemişken bu çalışmada ise sırası ile %63 ve %32 verim değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, koagülasyon ve flokülasyon yöntemi ile bazik boyar maddelerin giderilemediği Marmagne ve ark. (1996)'nin yanısıra başka araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir. Bu çalışmada ise koagülasyon flokülasyon yöntemi ile bazik boyarmaddeler içeren atıksulardan renk gideriminin gerçekleştirildiği gözlenmiş olup bu husus çalışmanın önemli bir noktası olarak dikkat çekmektedir. Bazik boyar maddeler ile renk giderimi çalışılırken tüm koagülant konsantrasyonlarında orijinal renk değişimi anında gözlenirken ve koagülant dozuna bağlı renk şiddeti de değişirken diğer boyar madde çözeltilerinde koagülant miktarının artırılması ile bu renk şiddeti değişimlerinin koagülant dozuna bağlı olarak yavaş yavaş değiştiği gözlenmiştir. Bu çalışmada, boyar madde çözeltilerinin başlangıç konsantrasyonu ölçülmediği için koagülasyonla bazik boyar maddelerin tam olarak giderilip giderilemediği, gideriliyorsa hangi oranda giderildiğinin tespiti oldukça zordur. Buna rağmen bu çalışmada, renk ölçümleri dikkate alındığından bazik boyar madde çözeltilerinde renk giderimi olduğu tespit edilmiştir. Gadekar ve ark. (2016), polialüminyum klorürün koagülant olarak kullanıldığı bir içme suyu arıtma tesisine ait kalıntıları kullanarak yapmış oldukları koagülasyon flokülasyon çalışmasında boyar madde giderimi çalışmışlardır. Bu çalışmada [10] araştırmacılar pH 3'de çalışmış olup Disperse Blue 79 boyar maddesini içeren sentetik çözeltiden koagülasyon flokülasyon yöntemini kullanarak %88 renk giderim verimine ulaşmışlardır.

Bu çalışmada kullanılan boyar madde çözeltileri ile magnezyum flokülasyonu iki farklı pH değerinde çalışılmıştır. Renk giderim verimleri pH 11 ve 11,5 değerleri için sırası ile Tablo 4 ve 5'de verilmiştir.

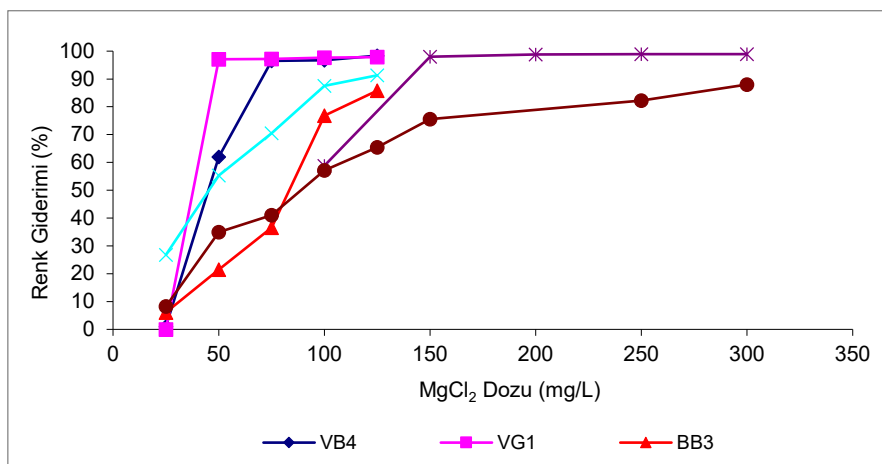
Tablo 4. Magnezyum kullanılarak pH 11 değerinde tespit edilen renk giderim verimleri

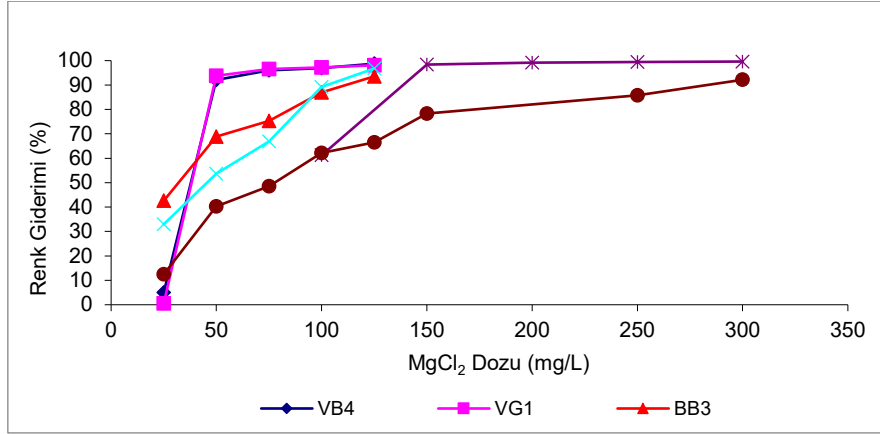
	VB4	VG1	BB3	BB41	DB71	RB29
Magnezyum klorür Dozu (mg/L)	Renk Giderim (%)	Renk Giderim (%)	Renk Giderim (%)	Renk Giderim (%)	Renk Giderim (%)	Renk Giderim (%)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	1,00	0,00	6,09	26,76	58,81	8,20
50	62,00	97,10	21,52	55,34	98,00	35,00
75	96,50	97,15	36,59	70,51	98,81	41,00
100	96,75	97,65	76,88	87,56	98,89	57,20
125	98,38	97,85	85,80	91,31	98,93	65,40
150						75,60
250						82,20
300						88,00

Tablo 5. Magnezyum Kullanılarak pH 11,5 Değerinde Tespit Edilen Renk Giderim Verimleri

	VB4	VG1	BB3	BB41	DB71	RB29
Magnezyum klorür Dozu (mg/L)	Renk Giderim (%)	Renk Giderim (%)	Renk Giderim (%)	Renk Giderim (%)	Renk Giderim (%)	Renk Giderim (%)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	5,00	0,50	42,61	32,95	61,23	12,45
50	92,13	93,75	68,91	53,64	98,42	40,26
75	96,00	96,55	75,29	66,93	99,15	48,56
100	97,00	97,15	87,03	89,26	99,42	62,17
125	98,75	98,10	93,55	96,76	99,63	66,52
150						78,29
250						85,75
300						92,16

Bu çalışmada boyar madde ile renk gideriminde magnezyum koagülantının alümin koagülantına göre daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca DB71 boyar maddesi için her iki koagülant kullanılması durumunda diğer boyar maddelere göre daha düşük renk değerlerine ulaşılmıştır. 25 mg/L magnezyum klorür tuzunun kullanılması ile pH 11 değerinde yapılan çalışmada DB71 boyar maddesi için % 58,81 renk giderimi sağlanırken koagülant dozunun 50 mg/L'ye çıkarılması durumunda giderim veriminin % 99'a kadar arttığı belirlenmiştir. pH 11,5 değerinde ise RB29, BB41 ve BB3 boyar maddeleri için renk giderim oranları pH 11 değerine göre yaklaşık olarak % 5'lik artış göstermiştir. pH 11 ve 11,5 değerine ait magnezyum flokülasyonu ile renk giderim değişimi grafikleri sırası ile Şekil 2. ve 3.'de verilmiştir.

**Şekil 2.** pH 11 Değerinde Sentetik Boyar Maddelerden Magnezyum Klorür Koagülasyonu İle Renk Giderimi



Şekil 3. pH 11,5 Değerinde Sentetik Boyar Maddelerden Magnezyum Klorür Koagülasyonu İle Renk Giderimi

Bir araştırmacı (Gao vd., 2007) magnezyum klorür tuzu ile pH 7,5 ve pH 13 değerleri arasında 800 mg/L konsantrasyon değerinde renk giderimi çalışmıştır. Gao ve ark. (2007), sodyum hidroksit ve kalsiyum hidroksit ile pH ayarlaması gerçekleştirerek ayrıca bu iki kimyasalın da giderim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda kalsiyum hidroksit ile birlikte magnezyum klorür kullanımının daha verimli olduğunu tespit etmişlerdir. Gao ve ark. (2007)'nin çalışmalarına ait giderim verimleri Tablo 6'da verilmiştir (Gao vd., 2007).

Tablo 6. Magnezyum Klorür İle Boyar Madde İçeren Atıksulardan Renk Giderimi [4]

Boyar Madde	Kalsiyum Hidroksit ile pH	Sodyum Hidroksit ile pH
	Ayarlaması	Ayarlaması
Acid Red	% 61,62	% 50,02
Reactive Yellow	% 55,21	% 41,87
Reactive Blue	% 83,10	% 69,38
Reactive Purple	% 67,12	% 58,23
Dispersed Dark Red	% 94,51	% 90,47
Dispersed Yellow	% 94,20	% 85,23

Araştırmacıların tespit ettikleri renk giderim verimleri bu çalışmada elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında bu çalışmadaki renk giderim oranlarının nispeten daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca bazik boyar maddelerden magnezyum kullanılarak %93-96 arasında renk giderim veriminin elde edilmesi de bu araştırmanın dikkat çekici yönünü daha da pekiştirmektedir. Magnezyum kullanılması durumunda bu çalışmada bazik boyar madde çözeltilerinde rengin koagülant eklendikten sonra sürecin başlaması ile rengin anında değiştiği ve dozun artırılması ile birlikte rengin daha da açıldığı alüm kullanılması durumunda olduğu gibi aynı şekilde gözlenmiştir. Ayrıca Li ve ark. (2016) ise koagülasyon işleminde magnezyum hidroksit ile birlikte kaolin kullanarak reaktif boyar madde giderimi çalışmışlardır. Araştırmacılar (Li vd., 2016), reactive red (X-3B) ve reactive yellow (X-R) boyar maddeleri içeren çözeltiler ile çalışmış olup kaolin kullanılması ile çalışmış oldukları pH 12 değerinde verimin arttığını tespit etmişlerdir. Wong ve ark. (2007) ise boyar madde gideriminde koagülasyon flokülasyon metodu ile çalışmış olup alüm, polialiminyum klorür ve magnezyum klorürü koagülant olarak kullanmışlardır. Araştırmada (Wong vd., 2007) polialiminyum klorürün, magnezyum ve alüm koagülantlarına göre daha verimli olduklarını belirterek %99'a ulaşan giderim verimi değerini tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Bu çalışma ile magnezyum kullanılması durumunda bazik boyar maddelerin renginin giderilebildiği gözlenmiş olup literatürde bu yönde araştırmaların yapılması ve giderim verimlerinin artırılması bu alandaki gelişmeler için önem taşımaktadır.

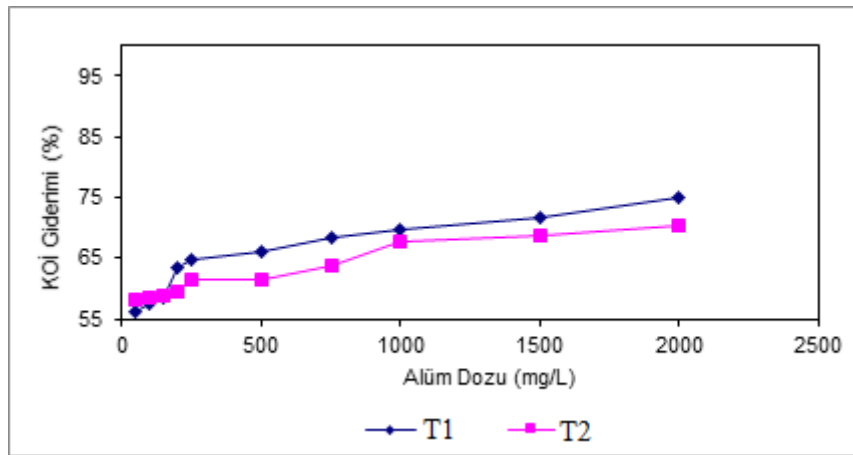
Koagülasyon ve Flokülasyon İşlemi ile Tekstil Endüstrisi Atıksularından Renk ve KOİ Giderimi

Çalışmanın bu aşamasında tekstil endüstrisi atıksularından renk gideriminde magnezyum klorür ve alümün kullanılabilirliğinin araştırılması gerçekleştirilmiştir. T1 endüstrisine ait atıksu ile pH 6,5 değerinde ve 50 mg/L alüm dozu ile %92,44 verim değeri elde edilmiş olup 2.000 mg/L alüm konsantrasyonu kullanılarak çalışılması durumunda ise %96,81 giderim verimi elde edilmiştir. T2 endüstrisine ait atıksuda alüm ile yapılmış olan çalışmada ise 50 mg/L ve 2.000 mg/L koagülant dozu uygulanması durumunda sırası ile %83,09 ve %97,13 renk giderimi değerleri tespit edilmiştir. T1 ve T2 endüstrilerine ait alüm koagülasyonu sonrası renk ve KOİ giderimleri Tablo 7'de yer almaktadır.

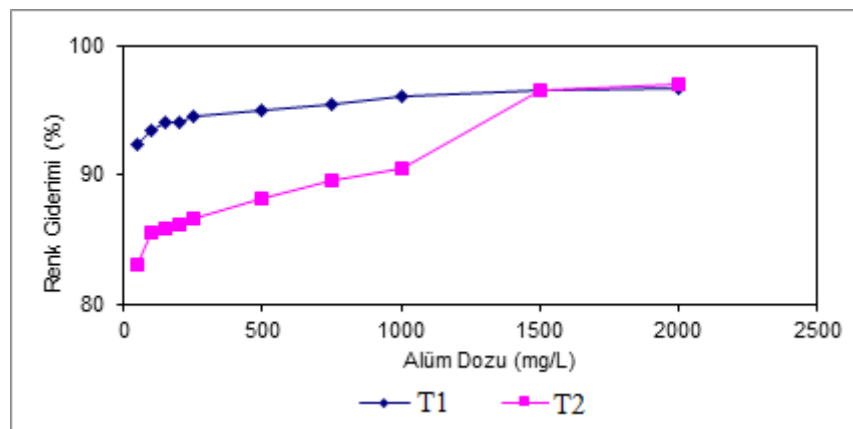
Tablo 7. T1 ve T2 Atıksularının Alüm Koagülasyonu Uygulanması ile Renk ve KOİ Giderim Verimleri

Alüm Dozu (mg/L)	T1		T2	
	Renk Giderimi (%)	KOİ Giderimi (%)	Renk Giderimi (%)	KOİ Giderimi (%)
50	92,44	56,28	83,09	58,29
100	93,44	57,61	85,53	58,44
150	94,08	58,34	85,82	58,75
200	94,17	63,31	86,10	59,44
250	94,54	64,77	86,68	61,45
500	94,99	66,16	88,25	61,60
750	95,54	68,41	89,54	63,84
1000	96,17	69,80	90,54	67,85
1500	96,54	71,62	96,56	68,85
2000	96,81	75,02	97,13	70,24

Her iki tekstil endüstrisi atıksuyu için alüm kullanılarak yapılmış olan çalışmalara ait renk ve KOİ giderim verimi grafikleri sırası ile Şekil 4 ve 5'te yer almaktadır. Şekiller incelendikleri zaman T1 endüstrisine ait atıksuda 50 mg/L alüm konsantrasyonunda % 56,28 KOİ giderim verimi tespit edilirken T2 endüstrisine ait atıksuda 50 mg/L dozlama değerinde % 58,29 KOİ giderim verimi tespit edilmiştir. Alüm miktarının artırılması ile T1 ve T2 endüstrilerine ait atıksularda benzer KOİ giderim verimleri elde alüm dozunun 1.000 mg/L'den 2.000 mg/L değerine çıkarılması ile KOİ gideriminde % 6'lık bir artış gözlenmiştir. T2 atıksuyu için 50 mg/L alüm dozlamasında % 58,29 olan KOİ giderim yüzdesi 1.000 mg/L dozunda % 67,85 giderim verimine ulaşırken 2.000 mg/L'de % 70,24 değerine ulaşmıştır.



Şekil 4. Alüm Koagülasyonu ile Tekstil Atıksularından KOİ Giderimi



Şekil 5. Alüm Koagülasyonu ile Tekstil Atıksularından Renk Giderimi

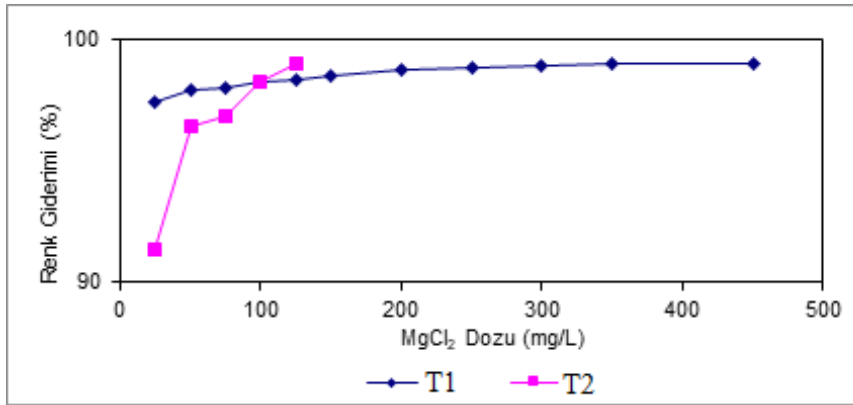
Chu (2000), gerçekleştirmiş olduğu çalışmada renk gideriminde alüm çamurunu koagülant olarak kullanmıştır. 75 mg/L alüm koagülantı ile %88 renk giderim verimi elde ederken 50 mg/L alüm ile birlikte 75 mg/L alüm çamurunun

koagülant olarak kullanılması ile %88 renk giderim verimi elde etmiştir. Başka bir araştırmacı ise [9] demir çamurunu koagülant olarak kullanarak tekstil endüstrisi atıksularından KOİ giderimi çalışmıştır. Kayranlı (2001), 2.000 ile 4.000 mg/L dozlarında demir çamuru kullanarak KOİ gideriminde demir çamurunun, demir üç klorür ve alüm koagülantları kadar etkili olduğunu bildirmiştir.

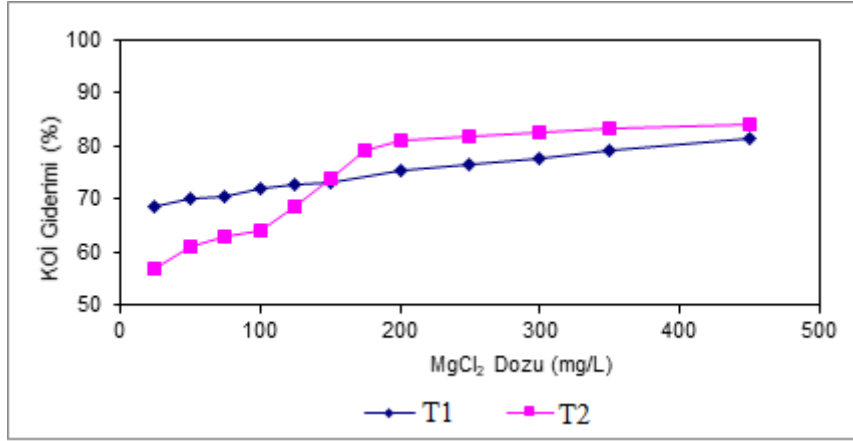
Bu çalışmada tespit edilen analiz sonuçları incelendiği zaman renk ve KOİ gideriminde alüm yerine daha düşük konsantrasyonlarda magnezyum klorür kullanılması ile yüksek verimlerde giderim sağlanabilmektedir (Tablo 8). T1 endüstrisi atıksuyunda 25 mg/L magnezyum klorür kullanılması ile % 97,45 renk giderimi ve T2 endüstrisi atıksuyunda ise % 91,4 renk giderimi değerine ulaşılmıştır. T1 endüstrisi atıksuyu için 450 mg/L koagülant dozuna ulaşıldığında ise renk giderim verimi yaklaşık olarak %1.5 değerinde artmıştır. T2 endüstrisine ait atıksuda 125 mg/L koagülant değerinde %8 değerinde bir artış sağlanmıştır. Şekiller 6 ve 7’de tekstil endüstrisi atıksularında artan koagülant dozlarına karşı sırası ile renk ve KOİ giderim verimlerinin değişimleri yer almaktadır.

Tablo 8. Magnezyum Koagülasyonu ile Tekstil Atıksularından Renk ve KOİ Giderim Verimleri

Magnezyum klorür Dozu (mg/L)	T1		T2	
	Renk Giderimi (%)	KOİ Giderimi (%)	Renk Giderimi (%)	KOİ Giderimi (%)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
25	97,45	68,71	91,40	57,05
50	97,91	69,92	96,42	60,99
75	98,00	70,53	96,85	62,84
100	98,27	72,04	98,28	64,23
125	98,36	72,59	99,00	68,54
150	98,54	73,20		73,86
200	98,72	75,44		79,34
250	98,82	76,35		80,96
300	98,91	77,68		81,88
350	99,00	79,32		82,73
450	99,00	81,38		83,27



Şekil 6. Magnezyum Koagülasyonu ile tekstil Atıksularından Renk Giderimi



Şekil 7. Magnezyum Koagülasyonu ile Tekstil Atıksularından KOİ Giderimi

SONUÇ

Alüm kullanılması ile en yüksek renk giderimi %95,93 ile DB71 boyasında ulaşılrken, en düşük renk giderim verimi %32,08 ile BB41 boyar maddesinde tespit edilmiştir. Magnezyum klorürün koagülant olarak kullanılmasıyla en yüksek renk giderimi %99,63 ile DB71 boyar maddesinde gözlenirken en düşük renk giderimine ise %92,16 ile RB29 boyar maddesinde ulaşılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiği zaman BB41 ve BB3 boyar maddelerinde araştırmacılar tarafından herhangi bir renk giderimi gözlenmezken bu çalışmada aynı boyar maddeler için magnezyum klorür ile sırasıyla %96,7 ve %93,55 renk giderimi elde edilmiştir. Ayrıca, magnezyum klorür koagülasyonunda pH 11,5 değerinde tespit edilen renk giderim verimlerinin pH 11 değerinde gerçekleştirilen koagülasyon işlemine göre %5 daha yüksek olarak tespit edilmişken KOİ giderim sonuçlarının aynı kaldığı gözlenmiştir.

Adana ilinde faaliyetini sürdüren iki tekstil firmasından temin edilen üretim atıksularına koagülant olarak alüm kullanılması ile gerçekleştirilen koagülasyon-flokülasyon çalışmasında tespit edilen renk verimleri T1 ve T2 endüstrisine ait atıksu için sırası ile %96,8 ve %97,13 olmuştur. T1 ve T2 endüstrileri atıksuları için KOİ giderim verimleri ise sırası ile %75,02 ve %70,24 olarak hesaplanmıştır. Renk giderim verimleri koagülant olarak Magnezyum klorür kullanıldığında T1 ve T2 endüstrisi atıksuları için %99 olurken KOİ giderim verimleri T1 ve T2 tekstil atıksuları için sırasıyla % 81,3 ve % 83,27 olarak tespit edilmiştir.

Tekstil endüstrisi atıksularında alüm ile elde edilen en düşük KOİ giderim verimi % 56,28 ile T1 atıksuyunda gözlenirken en yüksek KOİ giderim verimi % 75,02 ile yine T1 atıksuyunda gözlenmiştir. Koagülant olarak magnezyum klorür kullanıldığında ise en düşük KOİ giderim verimi %57,05 ile T2 atıksuyunda tespit edilirken en yüksek KOİ giderim verimi %83,27 ile T2 atıksuyunda bulunmuştur. Tekstil atıksularında magnezyum klorür ile yapılan renk giderimi çalışmalarında tespit edilen en düşük renk giderimi T2 atıksuyunda %91,4 ve en yüksek renk giderimi ise her iki atıksu içinde %99 olarak tespit edilmiştir.

Araştırma neticesinde bazik (katyonik) boyar maddelerin magnezyum klorürün koagülant olarak kullanılması neticesinde renk giderim verimlerinin %93'ün üzerinde olduğu ve diğer koagülantların kullanılması ile elde edilen değerlerden önemli seviyelere varan farklılıkların olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak, benzer niteliklerde boyar madde içeren atıksularda renk giderim prosesinde magnezyum klorür hem renk hem de KOİ gideriminde daha etkili bir koagülant olarak öne çıkarmaktadır.

KAYNAKLAR

Cinar, O., Demiroz, K., (2010). Biodegradation of azo dyes in anaerobic-aerobic sequencing batch reactors. In: Atacag Erkurt, H. (Ed.), Biodegradation of Azo Dyes, Handbook of Environmental Chemistry, vol. 9. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, pp. 59–72.

Gadekar M.R., Ahammed M.M., (2016). Coagulation/flocculation process for dye removal using water treatment residuals: modelling through artificial neural networks. Desalination and Water Treatment, 1-9.

Gao, B.Y., Yue, Q.Y., Wang, Y., Zhou, W.Z., (2007). Color removal from dye-containing wastewater by magnesium chloride. Journal of Environmental Management 82,167-172

Hai, F.I., Yamamoto, K., Fukushi, K., (2007). Hybrid treatment systems for dye wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 37, 315-377.

Kayranli, B., (2011). Adsorption of textile dyes onto iron based waterworks sludge from aqueous solution; isotherm, kinetic and thermodynamic study. *Chemical Engineering Journal*, 173, 782-791.

Li H., Liu S., Zhao J., Feng N., (2016). Removal of Reactive Dyes from Wastewater Assisted with Kaolin Clay by Magnesium Hydroxide Coagulation Process. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 222-227.

Marmagne, O., Coste, C., (1996). Colour removal from textile plant effluents. *American Dyestuff Reports* 85,15-21.
Pala, A., Tokat, E., 2002. Color removal from cotton textile industry wastewater in an activated sludge system with various additives. *Water Research* 36 (11), 2920-2925.

Rice, E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D., Clesceri, L.S., (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Washington.

Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P., (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with proposed alternatives. *Bioresource Technology* 77, 247-255.

Verma, A.K., Dash, R.R., Bhunia, P., (2012). A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters, *Journal of Environmental Management*, 93, 154-168.

Wong P.W., Teng T.T., Norulaini N.A.R.N., (2007). Efficiency of the Coagulation-Flocculation Method for the Treatment of Dye Mixtures Containing Disperse and Reactive Dye. *Water Quality Research*, 42.1.54-62.



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 29.11.2019
Kabul Tarihi : 27.12.2019

Received Date : 29.11.2019
Accepted Date : 27.12.2019

DA-DA YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜ İLE ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA ŞARJ CİHAZI TASARIMI

DESIGN OF ELECTRICAL VEHICLE BATTERY CHARGER USING DC-DC CONVERTER

Erdal KILIÇ^{1,*} (ORCID: 0000-0002-1572-6109)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Erdal KILIÇ, ekilic@ksu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde ana enerji kaynağı olarak en çok kullanılan fosil yakıtlar, yüksek fiyat, sınırlı kaynak ve çevresel kirliliği gibi birçok sorunu barındırması nedeniyle alternatif enerji kaynak arayışları artmıştır. Birçok ülke bu sorunların üstesinden gelmek için özellikle otomotiv sektöründe elektrikli araçları geliştirmeye ve kullanmaya başlamıştır. Elektrikli araçların yaygınlaşması ile birlikte batarya teknolojisi, hızlı ve kaliteli şarj cihazları, batarya yönetim sistemleri önemli araştırma konuları olmuştur. Bir elektrikli aracın bataryasının ömrü ve şarj süresi gibi bazı özellikleri doğrudan şarj cihazıyla ilgilidir. Bu durum batarya şarj cihazlarını, elektrikli araç endüstrinin gelişimi için kritik bileşenlerden biri yapmaktadır. Bu çalışmada DA-DA yükselten tip dönüştürücü kullanılarak elektrikli araçlar için bir batarya şarj cihazının tasarımı ve simülasyon işlemi sunulmaktadır. Batarya paketi ve şarj cihazının modellemesi, kontrol şeması tasarımı ve performansının değerlendirilmesi Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, DA-DA dönüştürücü, batarya şarj cihazı.

ABSTRACT

Nowadays, the search for alternative energy sources has increased since it contains many problems such as fossil fuels, high prices, limited resources and environmental pollution, which are the most commonly used energy sources. To overcome these problems, many countries have begun to develop and use electric vehicles, especially in the automotive sector. With the widespread use of electric vehicles, battery technology, fast and high-quality chargers and battery management systems have become important research topics. Some features of an electric vehicle, such as battery life and charging time, are directly related to the charger. This makes battery chargers a critical component for the development of the electric vehicle industry. In this study, the design and simulation of a battery charger for electric vehicles is presented using DC-DC boost type converter. Modeling, control chart design and performance evaluation of the battery pack and charger were performed in Matlab / Simulink environment.

Keywords: Electric vehicle, battery charger, DC-DC converter

GİRİŞ

Dünya çapındaki ekonomik genişlemenin ve büyüyen nüfusun etkileriyle birlikte, toplum refahını artırma çabaları, ileri sanayi ve teknoloji enerji talebinde küresel artışa neden olmaktadır. Temelde sanayi, ulaştırma ve elektrik sektörlerinden kaynaklanan atmosferdeki sera gazı birikimi küresel ısınma ve iklim değişikliğinin ana nedenini oluşturmaktadır (Kahraman, 2019; Iclodean ve ark. 2017). Küresel ısınma ve oluşturduğu çevresel etkileri azaltmak amacıyla dünya çapında farklı önlemler önerilmekte ve uygulanmaktadır. Bu sorunun çözümüne katkıda bulunmak için fosil yakıtları kullanan mevcut araçların yerine çevre dostu ve verimli elektrikli araçların kullanımı teşvik edilmektedir (Sang ve Bekhet, 2015; Silva ve ark., 2009). Elektrikli araç (EA)'lar, devlet teşvikleri sayesinde, sadece yenilikçi bir alternatif sunmak için değil aynı zamanda işletme maliyeti için de küresel otomotiv pazarında giderek daha fazla yer almaktadır (Steinhilber, 2013; Haddadian, 2015).

Bataryaların yeniden şarj edilmesi için kullanılan elektrik enerjisinin üretimi yenilenebilir kaynaklardan yapılmadığı sürece EA'ların kullanımı dolaylı olarak fosil yakıt kullanan araçlar kadar olmasa da bir miktar sera gazı üretmektedir. EA teknolojisinin yükselmesiyle birlikte bataryaların kapasite, şarj süresi, güç yoğunluğu, faydalı ömür gibi bileşenlerinin araştırılması ve geliştirilmesi önem kazanmıştır (Diouf ve Pode, 2015).

Günümüzde EA'larda genellikle kurşun-asit, nikel kadmiyum, nikel metal hidrat ve lityum iyon temelli bataryalar kullanılmaktadır. Yüksek enerji kapasitesine ihtiyaç duyulan ve batarya desteğiyle çalışacak şekilde tasarlanmış sistemlerde lityum tabanlı batarya hücreleriyle oluşturulmuş batarya paketleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde lityum tabanlı batarya hücreleri kullanılmasının en büyük nedenlerinden biri bu bataryaların yüksek enerji yoğunluklarına sahip olmalarıdır (Indukala ve Bincy, 2019; Miao ve ark. 2019; Noh, 2017).

Bataryaların kapasite, şarj süresi, enerji yoğunluğu, faydalı ömür, maliyet ve ağırlık bakımından iyileştirilmesi EA'ların geliştirilmesinde kritik bir öneme sahiptir (Wang ve ark., 2016). Yüksek enerji kapasiteleri elde etmek için, batarya hücreleri birbirlerine seri ve paralel bağlanarak, istenilen gerilim seviyesinde istenilen kapasite ayarlanmaya çalışılır.

EA'lara olan ilgi sürekli artış göstermesine rağmen özellikle yüksek şarj süreleri ve uzun menzilli yolculuklar için yetersiz batarya kapasitesi nedeniyle elektrikli araçların kullanımı henüz istenilen seviyeye ulaşmamıştır. Hem şehirlerde hem de yollarda yakıt istasyonlarına benzer şekilde yerleştirilen şarj istasyonlarına sahip olmak bu sorunları kısmen azaltacaktır (Özbalcı, 2019; Kerem, A., 2014). Ayrıca EA kullanımını desteklemek için hızlı şarj cihazlarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesinin çok önemli olduğu kabul edilebilir. Literatürde, hızlı şarj istasyonları için geliştirilen ve kayıpları azaltan topolojiler aracılığıyla, şarj işleminin etkinliğini arttırmayı amaçlayan farklı DA-DA dönüştürücü topolojileri bulmak mümkündür (Frey, 2019; Mahalingam, 2019; Tan, 2019; Xuan, 2019).

Batarya paketinin şarj edilmesini hedefleyen bir DA-DA dönüştürücü tasarlanırken bataryayı bir yük olarak kullanmanın etkisinin anlaşılması gereklidir. Çünkü bataryanın sistemde bir değişken yük gibi davranması tasarımı zorlaştıracaktır. Bu çalışmada, bir EA'nın lityum-iyon batarya paketini sabit akım-sabit gerilim yöntemiyle şarj etmek amacıyla DA-DA yükselten tip dönüştürücü esas alınarak bir şarj cihazının tasarımı ve simülasyon sonuçları sunulmuştur.

BATARYA ŞARJ CİHAZI TASARIMI

Bir batarya şarj cihazı, bataryanın tipine göre gerekli akım ve gerilim kontrolünü sağlayarak güvenli bir şekilde şarj işlemi yapan bir cihazdır. Batarya şarj cihazı EA'ların geliştirilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bataryalar genellikle sabit gerilim, sabit akım, kontrolsüz akım, darbe yükü, negatif darbeli, damlama, şamandıra, rastgele, sabit akım-sabit gerilim gibi yöntemlerle şarj edilmektedir (Erdal ve ark., 2019).

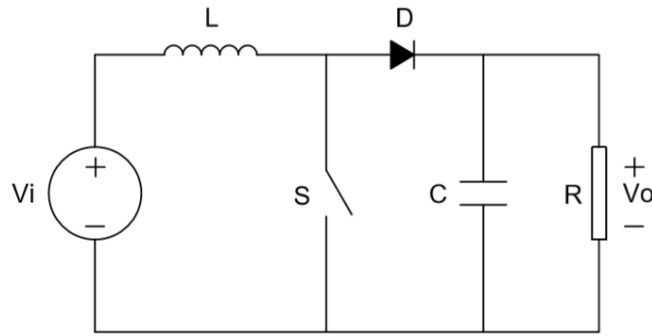
EA endüstrisinde çok çeşitli şarj edilebilir piller geliştirilmiştir, ancak mevcut tüm tipler arasında özellikleri ve performansları nedeniyle lityum-iyon pillerin en iyi olduğu düşünülmektedir. Bu piller için en popüler batarya şarj prosedürü sabit akım - sabit gerilim yöntemidir. Lityum-iyon pilin sabit akım – sabit gerilim şarj karakteristiği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Lityum-İyon Pilin Şarj Karakteristiği

Sabit akım şarjı, bataryanın zarar görmeden dayanabileceği maksimum şarj oranıdır. Şarj oranını en üst seviyeye çıkarmak ve aynı zamanda aşırı şarjdan kaçınarak bataryanın tam olarak şarj olmasını sağlamak için özel önlemler alınması gerekir. Bu nedenle, hücre gerilimi üst sınırına ulaşmadan önce şarj yöntemi sabit gerilimle değiştirilir. Bu durum lityum iyon hücreleri şarj cihazlarının şarj akımını ve batarya gerilimini kontrol edebilmesini gerektirmektedir. Sabit akım modunda şarj doluluk oranı batarya geriliminin üst sınırına ulaşılan kadar çok hızlı bir şekilde gerçekleşir. Batarya gerilimi üst sınıra ulaştıktan sonra sabit gerilim moduna geçilir ve şarj gerilimi bu seviyede tutulur. Bu sabit gerilim periyodu boyunca, şarj akımı düşmeye başlar. Önceden belirlenmiş bir minimum akım noktasına ulaşıldığında ise (genellikle şarj akım değerinin %3'ü ile %5'i) kesim gerçekleşir ve bu da bataryanın tam şarj doluluk oranına ulaştığını gösterir. Lityum-iyon pillerin nominal gerilimi 3,6 V'tur ve genelde 4,2 V'a kadar şarj edilirler. Burada I_c pilin kapasitesi olan amper-saat (Ah) değeridir.

Son zamanlarda elektrikli araç bataryalarının şarj edilmesi için de kullanılan DA-DA dönüştürücüler, girişindeki DA gerilimi bir seviyeden diğer bir gerilim seviyesine dönüştüren elektronik cihazlardır. Şekil 2'de temel topolojisi verilen DA-DA yükselten tip dönüştürücüler sürekli bir giriş gerilimini çıkışında daha yüksek bir gerilime dönüştürmektedir (Keçecioglu ve ark., 2019a).



Şekil 2. Yükselten Dönüştürücü Topolojisi

Dönüştürücü çıkışı bir referans değer ile karşılaştırılarak elde edilen hata ile genellikle sabit bir anahtarlama frekansında çalışan sistemin görev döngüsü (D) değeri ayarlanır (Keçecioglu ve ark., 2019b). Çıkış gerilimi değeri eşitlik (1)'de verilmiştir.

$$V_o = \frac{V_i}{1 - D} \quad (1)$$

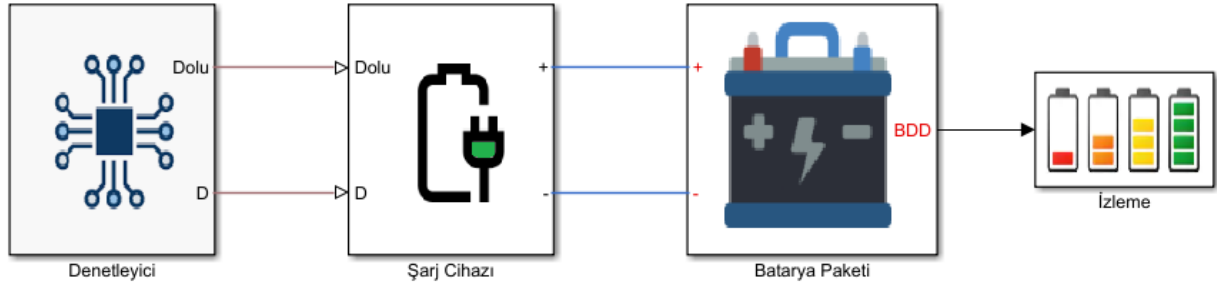
Batarya paketi 9 adet lityum-iyon pil paralel bağlanarak oluşturulan modüllerden 32 adetinin seri bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Batarya paketi özellikleri Tablo 1'de görülmektedir (Özbalcı ve Erdal, 2019).

Tablo 1. Batarya Paketi Parametreleri

Parametre	Değeri
Pil Kapasitesi	3400 mAh
Pil Nominal Gerilimi	3,6 V
Modül Pil Sayısı	9
Modül Nominal Kapasitesi	30,6 Ah / 110 Wh
Modül Sayısı	32 adet
Nominal Gerilimi	115,2 V
Maksimum Gerilimi	134,4 V
Toplam Kapasitesi	3525 Wh

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

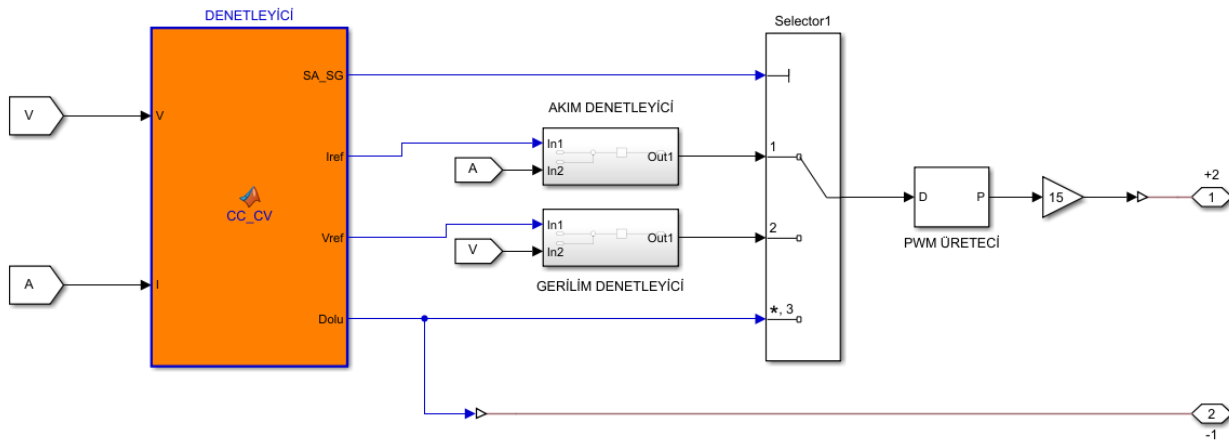
Bu bölüm, elektrikli aracın batarya paketi ve tasarlanan şarj cihazının MATLAB/Simulink ortamındaki modellenmesini ve simülasyon çalışmalarını göstermektedir. Sistemin simulink modeli Şekil 3'te verilmiştir. Denetleyici batarya paketinin ölçülen akım ve gerilim değerlerine göre şarj cihazını kontrol ederek bataryayı şarj etmekte ve batarya dolduğunda ise şarj işlemini bitirmektedir.



Şekil 3. Batarya Şarj Sistemi Modeli

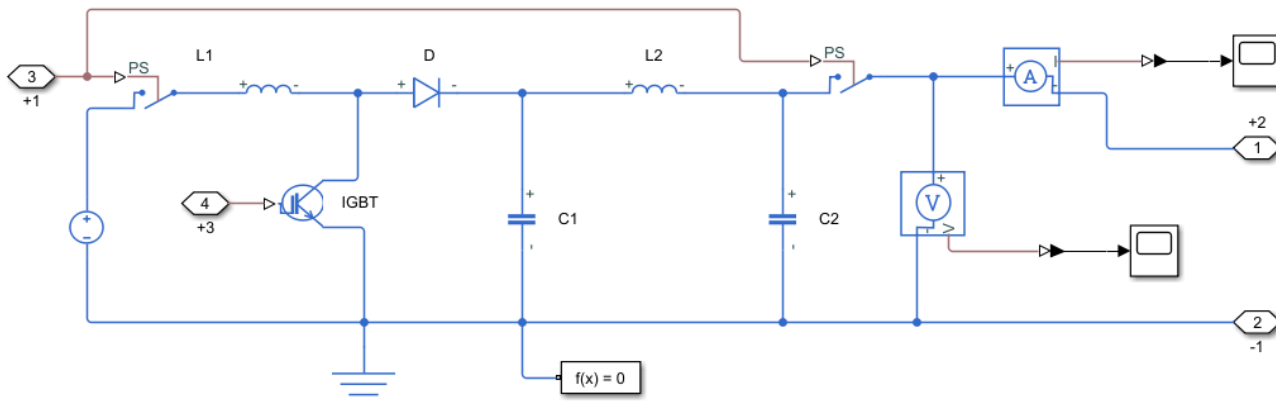
Batarya şarj sistemi sabit akım-sabit gerilim yöntemiyle çalışmakta ve akım ile gerilim kontrolü PID denetleyici tarafından yapılmaktadır. Batarya paketi, 134,4 V maksimum şarj gerilim değerine ulaşana kadar batarya paketi 15 A sabit akım ile şarj edilmektedir. Çıkış gerilimi maksimum şarj gerilim seviyesine ulaştıktan sonra batarya paketi sabit gerilim ile şarj edilmeye devam etmektedir. Çekilen akım değeri maksimum akım değerinin %3'üne düştüğünde ise şarj işlemi kesilmektedir.

Şarj sisteminin denetim modeli Şekil 4'te verilmiştir. Batarya akımı ve gerilimi sürekli ölçülerek şarj işlemi sabit akım veya sabit gerilimle yapılmaktadır. Batarya paketi tam doluluk seviyesine ulaştığında ise şarj kesim sinyali üretilmektedir. Denetleyici çıkışlarında oluşan görev döngüsü değerine göre PWM sinyali elde edilmektedir.



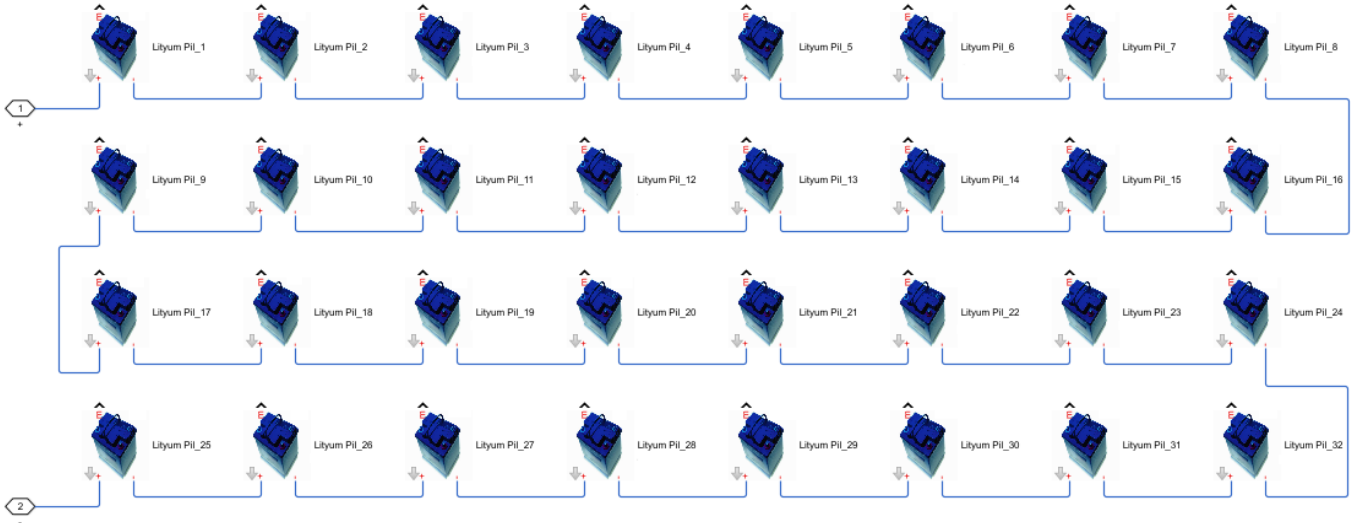
Şekil 4. Denetleyici Modeli

Şekil 5'te DA-DA yükselten tip dönüştürücü kullanılarak tasarlanan şarj cihazının modeli verilmiştir. Dönüştürücü tasarım aşamasında devre parametreleri belirlenirken giriş gerilimi 60 V, çıkış gerilimi 80-150 V, çıkış akım 0-15 A, anahtarlama frekansı 20 kHz, giriş akım dalgalanması %10, çıkış gerilim dalgalanması %1 olarak kabul edilmiştir. Devre parametrelerinin minimum değerleri Keçecioğlu ve ark. (2019a)'a göre belirlenmiştir. Dönüştürücü modelindeki pasif devre elemanlarından $L_1=75\text{mH}$, $C_1=330\mu\text{F}$, $L_2=5\text{mH}$ ve $C_2=1\text{mF}$ olarak seçilmiştir.



Şekil 5. DA-DA Yükselten Tip Dönüştürücü Modeli

Tablo 1'deki batarya paketi özellikleri dikkate alınarak Şekil 6'da batarya paketi modeli oluşturulmuştur. Lityum-iyon piller, birinci dereceden bir RC eşdeğer devre kullanılarak modellenmiştir (Ahmed ve ark., 2015). Aracın batarya paketi 32 adet seri modülden oluşmaktadır.

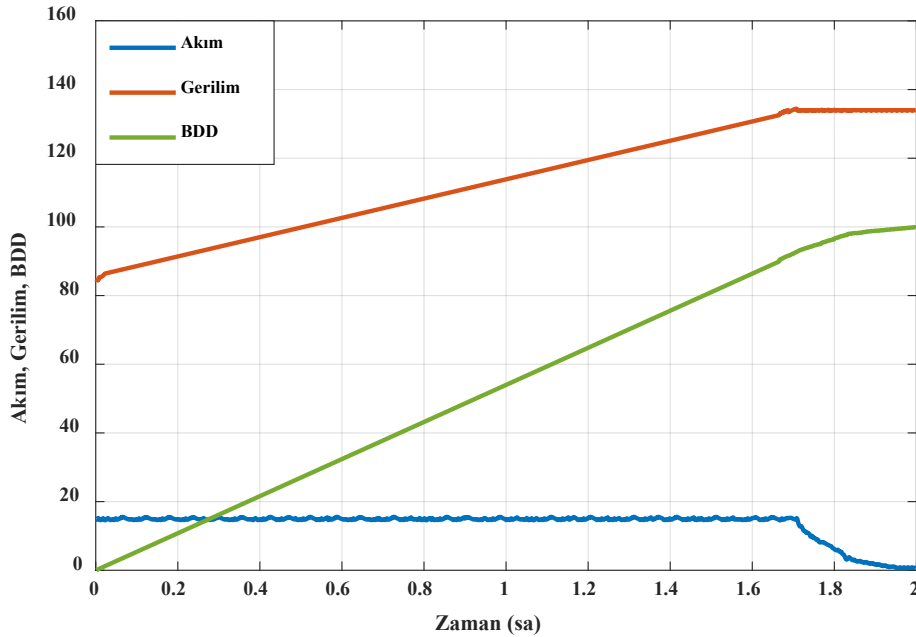


Şekil 6. Batarya Paketi Modeli

Simülasyon çalışmasında her modülün kapasitesi nominal değerinin altında 27,6 Ah olarak alınmış ve batarya paketinin başlangıçta boş olduğu kabul edilmiştir. Paketin batarya doluluk durumu (BDD) eşitlik (2)'deki ifade kullanılarak amper-saat sayma yöntemi ile tespit edilmiştir.

$$BDD(t) = BDD(t_0) + \frac{1}{Q_{maks}} \int_{t_0}^t I_b(t) dt \quad (2)$$

Burada; BDD_0 başlangıç anındaki batarya doluluk durumunu, I_b batarya akımını ve Q_{maks} bataryanın maksimum kapasitesini ifade etmektedir. Simülasyon çalışmasında elde edilen akım, gerilim ve BDD değerleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Batarya Paketini Şarj Cevabı

Batarya paketinin gerilim değeri maksimuma ulaşana kadar 15 A sabit akım ile şarj işlemi yapılmıştır. Bu sırada BDD yaklaşık %90 değerine ulaşmıştır. Daha sonra gerilim değerinin sabit kaldığı ve batarya şarj olmaya devam ederken akım değerinin giderek düştüğü görülmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, elektrikli bir aracın lityum-iyon pillerden oluşan batarya paketi ile DA-DA dönüştürücü esaslı bir şarj cihazı tasarlanmıştır. Sistem modeli MATLAB/Simulink ortamında oluşturulmuştur. Şarj yöntemi olarak sabit akım-sabit gerilim tekniği kullanılmıştır. Yapılan çalışmada batarya paketi başarılı bir şekilde şarj edilmiştir. Batarya paketi 1,7 saatte yaklaşık %90 doluluk oranıyla sabit akım modundan sabit gerilim moduna geçmiştir. Yaklaşık 2 saatte ise tam dolu duruma ulaşmıştır. Sabit akım modunda 15 A referans değeri ile yapılan şarj işleminde %7 civarında akım dalgalanması meydana gelmiştir. Sistemde PID tipi klasik denetleyici yerine yapay zekâ temelli denetleyiciler kullanılarak akım dalgalanmasının daha da düşürülebileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, R., Gazzarri, J., Onori, S., Habibi, S., Jackey, R., Rmezien, K., Tjong, J., & LeSage, J. (2015). Model-Based Parameter Identification of Healthy and Aged Li-ion Batteries for Electric Vehicle Applications, *SAE Int. J. Alt. Power*, 4, 2.
- Diouf, B., & Pode, R. (2015). Potential of lithium-ion batteries in renewable energy, *Renewable Energy*, 76, 375-380.
- Frey, D. (2019). Boost converter DC to DC, MATLAB Central File Exchange. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/60523-boost-converter-dc-to-dc/> Accessed 25.12.2019.
- Haddadian, G., Khodayar, M., & Shahidepour, M. (2015). Accelerating the Global Adoption of Electric Vehicles: Barriers and Drivers, *The Electricity Journal*, 28, 53-68.
- Iclodean, C., Varga, B., Burnete, N., Cimerdean, D., & Jurchiş, B. (2017). "Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 252(1): 012058.
- Indukala M.P, & Bincy M.M. (2009), A Study on Electric Vehicle Battery, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6, 309-314.
- Kahraman, G., (2019). Türkiye’de Kentleşmenin Enerji Tüketimi ve Karbon Salınımı Üzerine Etkisi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9,1559-1566.
- Keçecioglu, Ö.F, Gani, A., & Kılıç, E. (2019a). Robust Control of Boost Converter using Interval Type-2 TSK Fuzzy Logic Controller, *CISSET-2nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology*, 10-12 October, Mersin/ TURKEY.
- Keçecioglu, Ö.F., Gani, A., Kılıç, E. (2019b). Negatif Çıkışlı Yüksek Kazançlı Luo Dönüştürücünün Denetiminde Tip -2 Sinirsel-Bulanık Denetleyicinin Performansının İncelenmesi, *4th International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2019)*, April 25-27, 2019 – Alanya, Antalya / TÜRKİYE.
- Kerem, A. (2014). Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5, 1-13.
- Kılıç, E., Doğmuş, O., Keçecioglu, Ö.F., Güneş, M. & Gani, A. (2019). Elektrikli Araç İçin Yerleşik Şarj Ünitesi Tasarımı, *International Symposium on Advanced Engineering Technologies- (ISADET)*, 02-04 May, Kahramanmaraş, Turkey.
- Mahalingam, H. (2019). Multiphase boost converter in solar battery charger, MATLAB Central File Exchange. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/48118-multiphase-boost-converter-in-solar-battery-charger/> Accessed 25.12.2019.
- Miao, Y., Hynan P., Jouanne A.V., & Yokochi A. (2019). Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements, *Energies*, 12: 1074.
- Noh, M. H. (2017). Fast-charging of Lithium-ion batteries with ohmic-drop compensation method, Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes.
- Özbalcı, Ü., & Kılıç, E. (2019). Elektrikli Bir Aracın Batarya Sisteminin Modellenmesi, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 64-69.
- Sang, Y.N., & Bekhet, H.A. (2015). Modelling electric vehicle usage intentions: an empirical study in Malaysia, *Journal of Cleaner Production*, 92, 75-83.

Silva, C., Ross, M. &Farias, T. (2009). Evaluation of energy consumption, emissions and cost of plug-in hybrid vehicles, *Energy Conversion and Management*, 50, 1635–1643.

Steinhilber, S., Wells, P., & Thankappan, S. (2013). Socio-technical inertia: Understanding the barriers to electric vehicles, *Energy Policy*, 60, 531-539.

Tan, R., (2019). Lithium Battery Charger Block, MATLAB Central File Exchange. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/72570-lithium-battery-charger-block/> Accessed 25.12.2019.

Wang, Q., Jiang, B., Li, B., & Yan, Y. (2016). A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 106-128.

Xuan, T.N., (2019). Charger for Battery 48V from DC source 32V with two mode CC and CV, MATLAB Central File Exchange. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/35735-charger-for-battery-48v-from-dc-source-32v-with-two-mode-cc-and-cv/> Accessed 25.12.2019.



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 01.08.2019
Kabul Tarihi :29.11.2019

Received Date : 01.08.2019
Accepted Date : 29.11.2019

MOBİL ROBOT KOLONUNPSO İLE STABİLİZASYONU

STABILIZATION OF MOBILE ROBOT ARM USING PSO

Aziz ULUSOY ¹(ORCID:0000-0002-8287-8639)

Mahit GÜNEŞ ^{1*} (ORCID:0000-0002-1552-3889)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mahit GÜNEŞ, mgunes@ksu.edu.tr

ÖZET

Bu makalede öncelikle tasarlanan robot tanıtılmaktadır. PID denetleyicinin yapısı, Ziegler Nichols (ZN) yöntemi ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması hakkında bilgi verilmektedir. Daha sonra PSO algoritmasının kontrol sistemine uygulanmasından bahsedilmektedir. Mobil robot kolunu kontrol eden Genuino 101'in üzerinde bulunan USB portundan sonuçlar alınmakta ve Matlab' ta grafiklere dönüştürülmektedir. Mobil robot kolunun dikey ve yataydaki konumu jiroskop ve ivmeölçerler ile belirlenmektedir. Mobil robot kolun konumunda değişim meydana geldiğinde mobil robot kolunun bilek (M4 motoru) ve bilek dönüş (M5 motoru) motorlarının kontrolü yapılmaktadır. PID denetleyici parametreleri kapalı çevrim ZN yöntemi ile belirlenip sonuçlar gerçek zamanlı olarak alınmaktadır. PSO algoritması kullanılarak elde edilen PID parametreleri denetleyicilere uygulanmakta ve sonuçlar gerçek zamanlı olarak karşılaştırılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre PSO+PID kontrolün Klasik PID kontrole göre daha az hata yaptığı ve en kısa sürede istenen referans konumuna ulaştığı gözlemlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Parçacık Sürü Optimizasyonu, Ziegler Nicholas, PID

ABSTRACT

In this paper, at first it is introduced designed robot. The information is given about that the supervisor structure of PID controller, Ziegler Nichols (ZN) method and Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. Later, it is mentioned that implementation of PSO to the control system. The results are taken from the USB port on the Genuino 101 which is controlling the mobile robot arm and these results are transformed graphics on Matlab. The horizontal and vertical position of the mobile robot arm is defined with gyroscope and accelerometer when the change of mobile robot arm (M4) and wrist turning (M5) motors rechecked. PID controller parameters are determined with closed cycle ZN method and the results are observed as real-time. PID parameters are obtained using PSO and these parameters are applied to the controllers the results are compared as real time. According to the obtained results it is observed that PSO + PID control makes less mistake than according to the classic PID control and it is observed that it reached the needed reference position in a short time.

Keywords: Particle Swarm Optimization , Ziegler Nichols , PID

GİRİŞ

Robotlar günümüzde birçok sektörde kullanılmakta ve her geçen gün robotlara olan ihtiyaç artmaktadır. Robotlar insanların hayatlarını kolaylaştırmakta ve insanlara daha konforlu bir yaşam sağlayabilmektedir (A. Bayrak,2007). Robotlar veya robot kolları bu görevleri yerine getirebilmeleri ve istenen amaca en uygun şekilde yüksek performans gösterebilmeleri için kontrol yöntemleri büyük önem arz etmektedir (K. Kayışlı ve M. Uğur, 2017). İstenilen işlemleri hızlı ve hassas bir şekilde yapabilmek için uygun kontrol yöntemleri seçilmelidir. Bu çalışmada mobil robot kolu tasarlanmış ve tasarlanan mobil robot kolunun kontrolü PID denetleyici ile yapılmıştır.

PID denetleyiciler ile kontrol edilen sistemlerde PID parametreleri sistemin kararlı çalışmasında büyük önem arz etmektedir. PID parametrelerinin uygun değerlerde seçilmesi sistemin performansını etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Bu çalışmada PID parametrelerinin belirlenmesinde ZN yöntemi ve optimizasyon yöntemlerinden olan PSO algoritması kullanılmaktadır. PID parametrelerinin ZN yöntemi ile belirlenmesi ile elde edilen kontrol yöntemi

Klasik PID olarak isimlendirilmiştir. PSO algoritması ile PID parametrelerinin belirlendiği çalışma ise PSO+PID denetleyici olarak isimlendirilmiştir.

Bu çalışmada Klasik PID denetleyici ve PSO+PID denetleyici robot kolun kontrolü sağlanmış ve robot kolun çalışma kararlılıkları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar Klasik PID denetleyiciye göre PSO+PID denetleyici ile yapılan çalışmanın daha az hata ile ve en kısa sürede istenen referans konuma ulaştığı gözlemlenmiştir.

MOBİL ROBOT KOLUNUN TASARIMI

Mobil robot iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde mobil robotun alt kısmını oluşturan dört tekerlek ve her tekerleğinde çekirdeksiz DA motor bulunmaktadır. Bu dört adet çekirdeksiz enkoderli DA motor ve alüminyum mekanik teker sayesinde robot istenilen yöne anında dönebilmektedir. 45° ve katları açılarda tek hamle ile gidebilir. Bu dönüşleri sağlayabilmek için çapraz iki tekerlek durdurulup diğerleri hareket ettirildiğinde ilk konumuna göre 45° bir eksen üzerinde ileri geri götürülebilir veya sol tarafa 90° lik bir açı ile hareket ettirmek istenirse sol taraftaki tekerleklerin birbirlerine doğru hareket ettirilip, sağ taraftaki tekerleklerin ikisinin birden birbirlerine göre dışarı doğru hareket ettirilmesi ile gerçekleşmektedir. Bu tekerlekler sayesinde 360° dönmesi çok kolaylıkla gerçekleşmektedir. Bunun içinde robotun bir yanındaki tekerlekleri aynı yöne diğer yanındaki tekerlekleri de bunun aksi yönüne doğru hareket ettirdiğimiz zaman bu hareket gerçekleşmektedir. Üzerinde bulunan ultrasonik ve kızılötesi sensörler sayesinde ön, arka, sağ ve sola çarpması engellemektedir. Tasarlanan mobil robotun birinci bölümünün resmi aşağıda Şekil 1 'de görülmektedir.



Şekil 1. Tasarımı Yapılan Mobil Robot Kolunun Birinci Bölümü

İkinci bölüm ise robot koldan oluşmaktadır. Robot kol farklı objeleri taşıyabilecek şekilde tasarlanmıştır. Robot kolun ağırlığı 800 gr'dır. Maksimum çalışma uzanımı 80 cm, maksimum yüksekliği 52 cm, taban genişliği 14 cm, tutucu genişliği 90mm ve maksimum yük taşıma kapasitesi 250 gr'dır. Tasarlanan mobil robotun ikinci bölümünün resmi aşağıda Şekil 2 'de görülmektedir (URL1).



Şekil 2. Tasarımı Yapılan Mobil Robot Kolunun İkinci Bölümü

Mobil robotumuz yukarıdaki iki bölümün birleşmesinden oluşmaktadır. Mobil robotumuz 40cm boyunda 36cm eninde 62cm yüksekliğindedir. Mekanik tekerleğin çapı 10 cm'dir. Mobil robotun toplam ağırlığı 5 kg 'dır.. Tasarlanan mobil robotun resmi aşağıda Şekil 3'de görülmektedir.



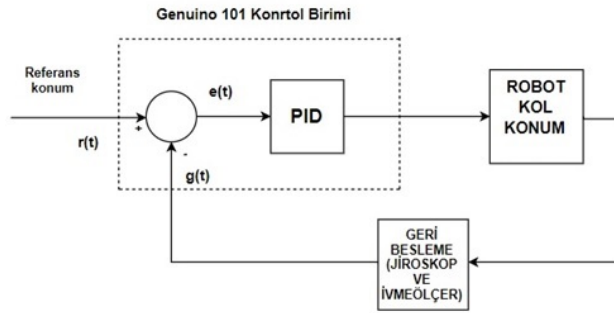
Şekil 3. Tasarımı Yapılan Mobil Robot Kolu

YÖNTEM

PID Denetleyici Yapısı

Tüm kontrol sistemlerinin amacı, sistemi istenilen duruma getirmek için tanımlanmış kontrol kriterlerini sistemin belirli durum ve değişkenlerini takip ederek verilen zaman aralıklarında gerçekleştirmektir. Kontrol sisteminde input ve output denilen girişler ve çıkışlar bulunur. Giriş verileri denetleyicide işlenerek kontrol edilen sisteme gerekli çıkışı sağlamaktadır. Bu çıkış, sistemi kumanda etmek için kullanılan bir kontrol sistemidir (Songül S, 2014).

Robot kolun hareketini sağlayan motorların kontrol algoritması için PID kullanılmıştır. Bu kontrol algoritması uygulanması kolay, ayarlanacak parametre sayısı az olan negatif geri beslemeli kapalı çevrim kontrol algoritmasıdır. PID (Oransal-İntegral-Türev) kontrol basit yapısı nedeniyle endüstride sıkça kullanılan ve çok bilinen klasik kontrol yöntemlerinden biridir (G.Tasci ve G. Kucukyildiz, 2012). Bu kontrolün yapısı aşağıda blok şeması olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. PID Algoritması Kontrol Şeması

Yukarıdaki blok şemada $r(t)$ referans sinyali, $g(t)$ geri besleme sinyali, $e(t)$ ise hata sinylidir.

$$e(t) = r(t) - g(t) \quad (1)$$

Aşağıdaki denklemde ise PID denetleyicinin matematiksel modeli görülmektedir. K_p , K_i , K_d parametreleri oransal, integral ve türev katsayılarıdır.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

Ziegler Nichols Yöntemi

John Ziegler ve Nathaniel Nichols'un 1942 yılında bulduğu PID parametrelerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemdir. ZN metodunda açık çevrim ZN metodu ve kapalı çevrim ZN metodu olmak üzere iki ayrı şekilde PID parametreleri bulunabilir. Bu çalışmada kapalı çevrim ZN metodu kullanılmıştır.

Kapalı çevrim ZN metodu parametreler şu şekilde bulunur,

- 1) Denetleyici integral ve türev bileşenleri etkisiz kılınarak otomatik kontrol çevrime bağlanır.
- 2) Denetleyicinin Kc kazancı kararlılık limiti aşıncaya kadar artırılır (sistem öz salınım girer). Salınım periyodu Tc ölçülür.
- 3) Salınım periyodu Tc ve sistemin salınımına başladığı andaki P denetleyicinin kazancı Kc kullanılarak Tablo1'de görüldüğü gibi denetleyici parametreleri elde edilir. Tc : Kritik periyod, Kc : Kritik kazanç olarak anılır (Berber, Ö , Ateş, M , 2016).

Tablo 1. Kapalı Çevrim Ziegler Nichols Metodunda Kullanılan PID Parametreleri

Denetleyici	k_p	k_i	k_d
P	$0.5K_c$	-	-
PI	$0.45K_c$	$0.85T_c$	-
PID	$0.5K_c$	$0.5T_c$	$0.125T_c$

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritması

PSO 1995'te Dr. Eberhart ve Dr. Kennedy tarafından geliştirilmiş popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniğidir. Kuş veya balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiştir (Kennedy, J. and Eberhart,1995).

Parçacık Sürü Optimizasyonunda öncelikle rastgele belirlenmiş olası bir çözüm kümesi oluşturulur. Burada oluşturulan çözüm kümesinin her satırı bir parçacığı her sütunu ise sürüyü oluşturmaktadır. Burada oluşturulan k matrisi aslında rastgele belirlenmiş k_p , k_i ve k_d değerleridir.

$$k = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Bu kümenin her bir elemanı optimize edilecek sisteme uygulanır ve parçacıkların en iyisi olan "*pbest*" vesürünün en iyisi olan "*gbest*" hesaplanır. Üç adet parametreden oluşan n adet parçacık için popülasyon matrisi yukarıdaki gibi ifade edilir. Matrise göre, i. parçacık aşağıdaki şekilde gösterilir (URL2).

$$k_i = |k_{i1} \quad k_{i2} \quad k_{i3}| \quad (4)$$

$$P_{best_i} = |P_{i1} \quad P_{i2} \quad P_{i3}| \quad (5)$$

$$g_{best_i} = |P_1 \quad P_2 \quad P_3| \quad (6)$$

i'ninci parçacığın her konumdaki değişim miktarını gösteren hız vektörü aşağıdaki gibi ifade edilir (URL2).

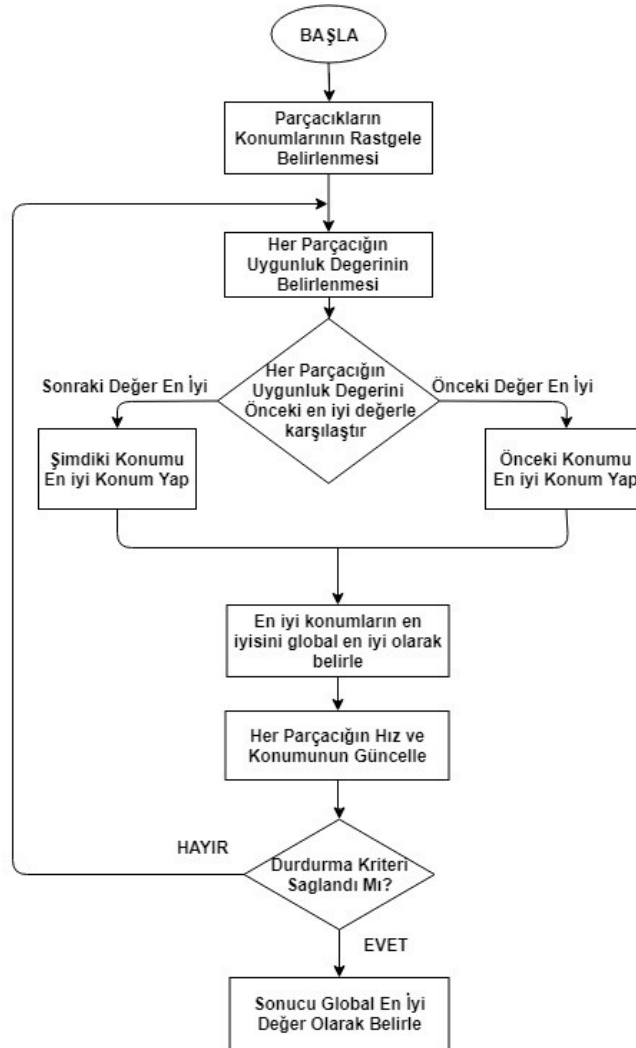
$$V_i = |V_{i1} \quad V_{i2} \quad V_{i3}| \quad (7)$$

İlk iterasyonda her bir parçacığın en iyisi olan "*pbest*" kendisine eşit olmaktadır. Buradan elde edilen en iyi değere karşılık gelen parçacık (sürünün en iyisi) "*gbest*" olarak seçilir. Bu iki en iyi değer bulunduktan sonra; parçacık, hızını ve konumu sırasıyla aşağıdaki (8) ve (9) denklemlerine göre güncellenir. Yeni konum değerleri elde edildikten sonra bu değerler kullanılarak tekrar başa dönülür ve uygunluk değerleri hesaplanıp, "*pbest*" ve "*gbest*" değerleri güncellenir. Sonlanma kriteri sağlanıncaya kadar işlemlere devam edilir ((Doğmuş vd.,2017; URL2).

$$V_i^{k+1} = V_i^k + C_1 * r_1^k * (p_{best_i}^k - X_i^k) + C_2 * r_2^k * (g_{best_i}^k - X_i^k) \quad (8)$$

$$\mathbf{X}_i^{k+1} = \mathbf{X}_i^k + \mathbf{V}_i^{k+1} \quad (9)$$

Burada $r(0-1)$ arasında üretilen rastgele bir değeri, i parçacık numarasını, k ise iterasyon sayısını gösterir. C_1 ve C_2 öğrenme faktörleridir. Bunlar parçacıkları $pbest$ ve $gbest$ konumlarına doğru yönlendiren sabitlerdir. C_1 parçacığın kendi tecrübelerine göre, C_2 ise sürüdeki diğer parçacıkların tecrübelerine göre hareketi yönlendirir. Düşük değerler seçilmesi parçacıkların hedef bölgeye doğru çekilmeden önce, bu bölgeden uzak yerlerde dolaşmalarına imkân verir. Ancak hedefe ulaşma süresi uzayabilir. Diğer yandan, yüksek değerler seçilmesi, hedefe ulaşmayı hızlandırırken, beklenmedik hareketlerin oluşmasına ve hedef bölgenin es geçilmesine sebep olabilmektedir (URL2). Bu çalışmada $rand$ değerini 1, öğrenme faktörlerini $C_1=C_2=2$ belirlenmiştir.



Şekil 5.PSO Akış Diyagramı

PSO Uygunluk Kriterleri

PID denetleyiciler için yapılan çalışmalar arasında sıklıkla kullanılan uygunluk fonksiyonları integral og absolute error (IAE), integral of time weighted absolute error (ITAE), integral of squarred error (ISE) ve integral of time weighted squarred error (ITSE) 'dır.

Bu uygunluk fonksiyonları aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (10)$$

$$ITAE = \int_0^{\infty} t \cdot |e(t)| dt \quad (11)$$

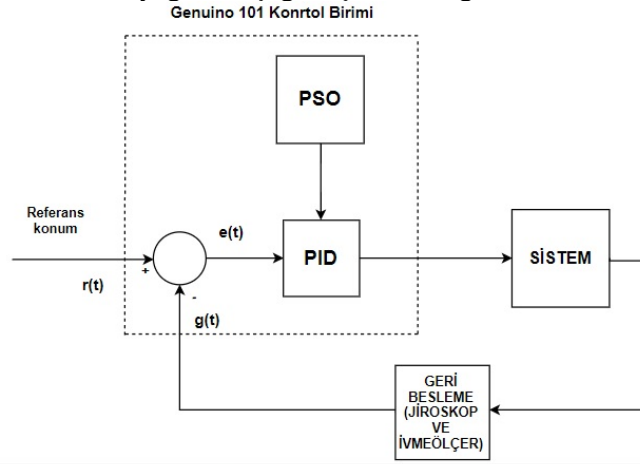
$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (12)$$

$$IAE = \int_0^{\infty} t \cdot e^2(t) dt \quad (13)$$

Uygunluk fonksiyonu parçacıkların ne kadar iyi olduğunu değerlendirir. PSO+PID denetleyici yönteminde aşımı, yerleşme zamanını ve kararlı durum hatasını en az seviyeye tutmak için kullanılır. Bu çalışmada IAE uygunluk fonksiyonu kullanılmıştır.

PSO+PID Denetleyici Yapısı

Tasarlanan sistem kapalı döngülü kontrol sistemidir. Sistem öncelikle PSO algoritmasının çalıştırılmasıyla başlatılmaktadır. PSO algoritması sayesinde sisteme en uygun PID parametreler elde edilmektedir. Elde edilen PID parametreleri Genuino 101 kontrol birimi tarafından sisteme aktarılmaktadır. Mobil robot harekete başladığında robotun tümsek gibi bozuk yol şartlarında gitmesi durumunda robot kolun koordinatlarında değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişiklik çeşitli sensörler (ivmeölçer, jiroskop gibi) vasıtasıyla algılanıp Genuino 101 kontrol kartı tarafından koordinatlardaki değişiklikler hesaplanıyor. Robot kolun bilek ve bilek dönüş ekseninde bulunan M4 ve M5 motorlarına kontrol birimi tarafından gelen uygun sinyaller sonucu robot kolun yatayda ve dikeyde stabilizasyonu sağlanmıştır. Tasarlanan sistemin blok diyagramı aşağıda Şekil 6’te görülmektedir.

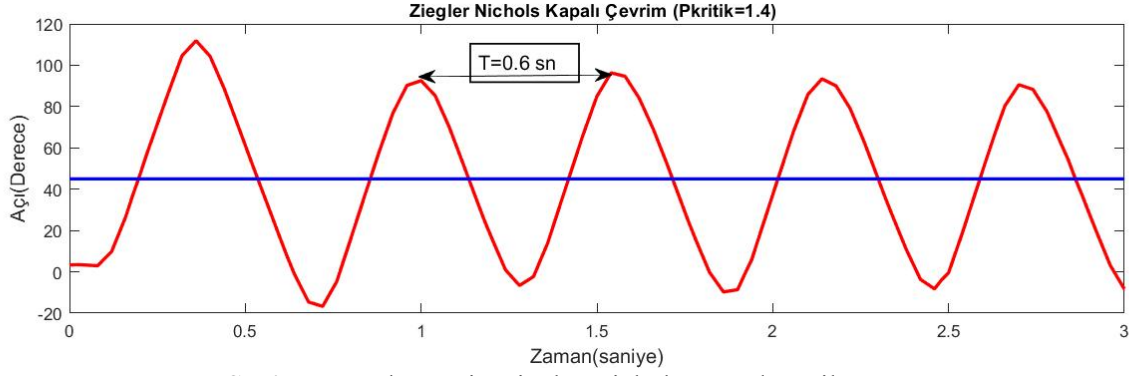


Şekil 6. Robot Kolu PSO+PID Kontrol Sisteminin Blok Diyagramı

BENZETİM ÇALIŞMASI

Arduino firmasının sitesinden (www.arduino.cc) tedarik edilebilen ücretsiz Arduino IDE editöründe programı yazılmaktadır. Arduino IDE’de yazılan programlar USB portu üzerinden Genuino 101 kontrol kartına aktarılmaktadır. Klasik PID ile yapılan çalışmada Ziegler Nichols metodu ile elde edilen K_p , K_i ve K_d değerleri sistemimize uygulanmış USB port üzerinden gerçek zamanlı olarak sonuçlar alınmıştır. Elde edilen bu sonuçlar Matlab ’ta grafiğe aktarılmaktadır. Bu grafikler aşağıda şekil.7, şekil.8, şekil.9, şekil.10, şekil.11’de gösterilmektedir.

Gerçek zamanlı olarak sistemde osilasyon yakalanmaya çalışılmıştır. P kritik değere 0.1 verilerek başlanmakta ve osilasyon P kritik=1.4 ‘te elde edilmektedir. Bu uygulama sonucunda aşağıdaki osilasyon elde edilmiş buradan sistem için PID parametreleri hesaplanmaktadır.



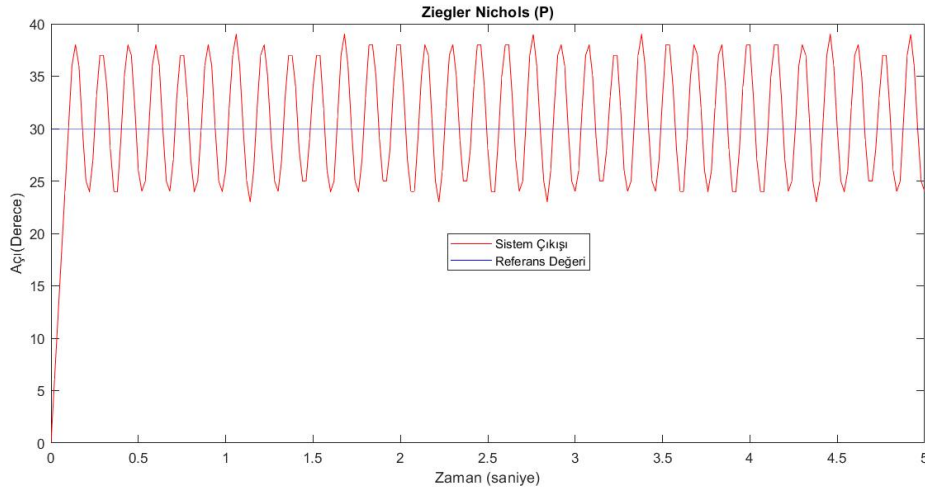
Şekil 7. Kapalı Çevrim Ziegler Nichols Metodu Osilasyonu

Buradan elde edilen PID parametreleri Tablo 1 'e göre hesaplanmış ve sonuçlar aşağıda Tablo 2 'de verilmiştir. Pkritik= 1.40 için Tc=0.6 olarak belirlenmektedir.

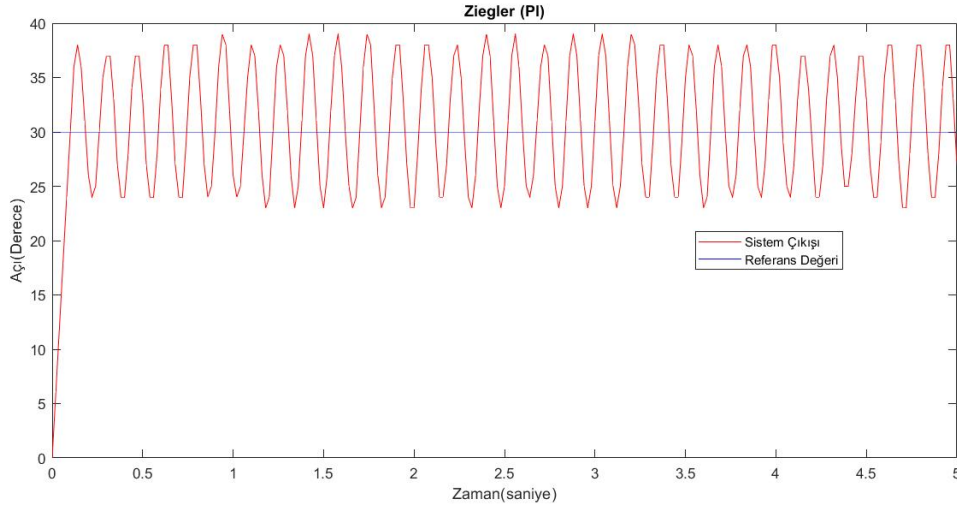
Tablo 2. Kapalı Çevrim Ziegler Nichols Metoduna Göre Hesaplanan PID Parametreleri

	k_p	k_i	k_d
PID	0.36	0.3	0.075
PI	0.63	0.5	-
P	0.7	-	-

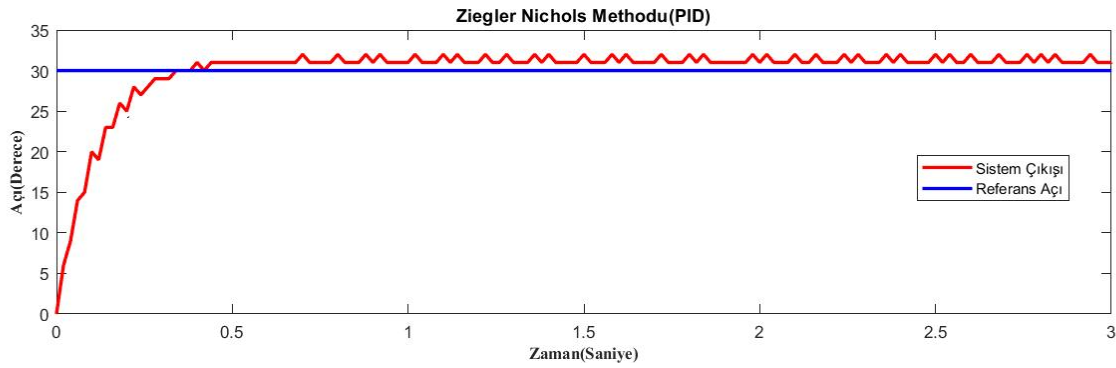
Hesaplanan bu sonuçlar sisteme yüklenmiş ve robot kolun hareketi başlatılmıştır. Genuino 101 kontrol kartı USB portu üzerinden Robot kolun konumları Matlab ortamına aktarılmış, 30°'lik referans konum verili p konum değişimleri P oransal, PI oransal ve integral, PID oransal integral ve türev denetleyicilerde aşağıdaki şekil 8, şekil 9 ve şekil 10 elde edilmiştir.



Şekil 8. Klasik PID Ziegler Nichols (P) Sonuçları



Şekil 9. Klasik PID Ziegler Nichols (PI) Sonuçları



Şekil 10. Klasik PID Ziegler Nichols (PID) Sonuçları

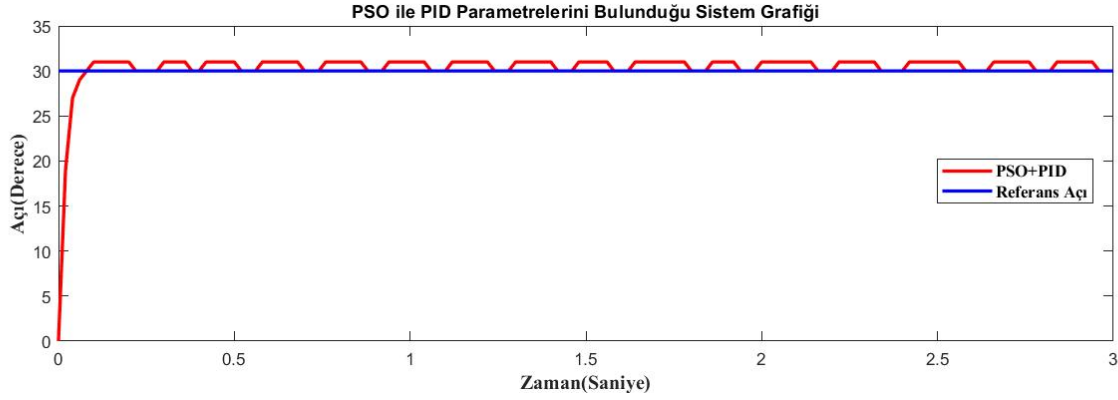
Sonuçlar incelendiğinde yükselme zamanı bakımından P ve PI 'ın daha iyi sonuç verdiğini, aşma bakımından PID 'nin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

PSO algoritması çalıştırılmış ve her iterasyon sonucunda elde edilen parçacıkların konumları ve uygunluk değerleri Guenino 101 kontrol kartının USB port üzerinden gerçek zamanlı olarak serial monitöre alınmış ve 10 iterasyon sonucunda global en iyi değer elde edilmiştir. PSO algoritmasının çalışması sonucunda belirlenen global en iyi değer olan gbest PID parametreleri olarak alınmıştır. PSO algoritmasının çalışması sonucunda elde edilen PID parametreleri aşağıda Tablo 3' te verilmiştir.

Tablo 3. PSO algoritması ile elde edilen PID Parametreleri

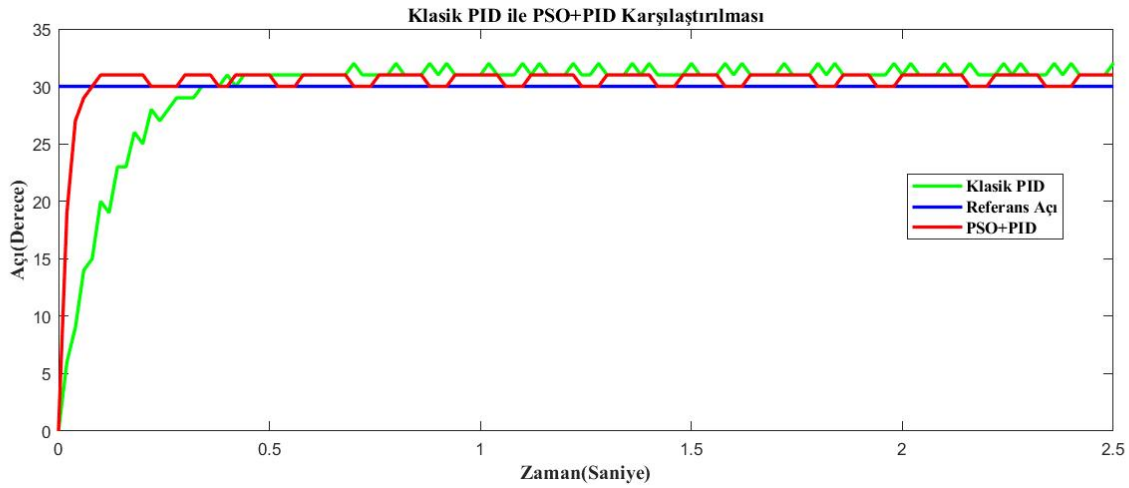
	k_p	k_i	k_d
PID	0.63	0.50	0.023

PSO+PID kontrol sisteminde PSO algoritması çalıştırılıp bu algoritma sonucu elde edilen PID parametreleri sisteme uyarlandığında elde edilen sonuç aşağıda Şekil 11 'de gösterilmektedir.



Şekil 11. PSO ile PID Parametreleri Bulunan Sistem Çıkışı

Klasik PID denetleyici ile PSO+PID denetleyicinin karşılaştırılması aşağıda şekil 12 'de gösterilmektedir.



Şekil 12. Klasik PID Kontrol ile PSO+ PID Kontrol Karşılaştırılması

Tablo 4. Elde Edilen Sonuçlar

	Yükselme Zamanı(sn)	Yerleşme Zamanı(sn)	Aşım(derece)
Klasik PID Kontrol Sistemi	0.037	0.34	2
PSO+PID Kontrol Sistemi	0.018	0.092	0.8

SONUÇLAR

Bu çalışmada tasarlanan robot kolu Klasik PID denetleyici ve PSO+PID denetleyici ile kontrol edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre PSO+PID denetleyicinin Klasik PID denetleyiciye göre daha iyi performans sergilediği sonucu elde edilmiş ve robot kolun istenen konuma daha kısa zamanda daha az hata ile ulaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca matematiksel modelin çıkarılması zor ve karmaşık olduğu problemlerin çözümünde PSO algoritmasının işlevselliğinin yüksek olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

Bayrak, A. (2007). Beş Eksenli Bir Robot Kolunun Simülasyonu ve Kontrolü, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.

Berber, Ö , Ateş, M , Alhassan, H , Güneş, (2016).M . Parçacık Sürü Optimizasyonu ve PID ile Mobil Robotun Optimum Yörünge Kontrolü. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (3), 165-169.

Chen, J., Ren, Z., Fan, X., (2006). Particle swarm optimization with adaptive mutation and its application research in tuning of PID parameters. Systems and Control in Aerospace and Astronautics, 19-21 Ocak, Çin, 994-999.

Doğmuş, O, Kılıç, E, Şit, S, Güneş, M. (2017), PSO Algoritması ile Optimize Edilmiş PID Denetleyicinin Fotovoltaik MPPT Sistemine Uyarlanması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (4), 1-8.

Gani, A., Açıkgoz, H., Keçecioglu, Ö.F., Kılıç, E., & Şekkeli, M., (2018). PSO Tabanlı PID ve PID Denetleyiciler ile Senkron Motorun Uyarım Akım Denetimi ve Reaktif Güç Kompanzasyonu Benzetim Çalışması, Akıllı Sistemler ve Uygulamaları Dergisi, Cilt: 1, Sayı: 1, Sayfa 103-110.

Gokhan Tasci, Gurkan Kucukyildiz, H. Metin Ertunc, Hasan Ocak,(*TOK2012*). PID ve Bulanık Mantık ile DC Motorun Gerçek Zamanda DSPIC Tabanlı Konum Kontrolü.

Kayışlı K., Uğur, M. (2017). 3 Serbestlik Dereceli Bir Robot Kolun Bulanık Mantık ve PID ile Kontrolü, *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasar. ve Teknol.*, Cilt:5, No:4, s:223-234.

Keçecioglu, Ö.F., Gani, A., & Açıkgoz, H.,(2018). DA-DA Azaltan Dönüştürücünün Optimal Denetimi için Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı LQR Denetleyici Tasarımı. *Journal of Scientific Communications, 3rd International Mediterranean Science And Engineering Congress October 24-26, Çukurova University, Congress Center, Adana / Turkey.* 873–877.

Kennedy, J. and Eberhart, R. C.(1995). “Particle Swarm Optimization” Proc. IEEE int'l conf. on Neural Networks Vol. IV, pp. 1942-1948. *IEEE Service Center, Piscataway, NJ.*

Kim, D.H., Hirota, K., (2008). Vector control for loss minimization of induction motor using GA-PSO. *Applied Soft Computing*, 8(4), 1692-1702.

Lieslehto, J., (2001). PID Controller Tuning Using Evolutionary Programming. American Control Conference, 25-27 Haziran, ABD, 2828-2833.

Mitsukura, Y., Yamamoto, T., Kaneda, M.,(1999). A Design Of Self-Tuning PIDControllers Using A Genetic Algorithm. American Control Conference, 2-4 Haziran, San Diego, 1361 – 1365.

Pehlivan F., Ankaralı, A, (2015) 5 Serbestlik Dereceli RobotKolunun Kinematik Hesaplamaları Ve Pıd İle Yörünge Kontrolü, *Uluslararası Katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu*, s. 7, İzmir.

Shi, Y. and Eberhart, R., May. A, (1998). Modified Particle Swarm Optimizer. In Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence., *The 1998 IEEE International Conference on (pp. 69-73)*. IEEE.

Songül S.,(2014). Tank Namlusu Stabilizasyon Sisteminin Arduino ile Uygulanması ve Deneysel Düzeneğinin Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi / Edirne.

URL 1: Tinkerkit Braccio Robot, Teknik Özellikler (2015). <https://store.arduino.cc/usa/tinkerkit-braccio> Erişim Tarihi 19.07.15

URL 2: İleri Algoritma Analizi. Parçacık Sürü Algoritması (2015). <http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/IleriAlgoritmaAnalizi/IleriAlgoritmaAnalizi-10.Hafta-ParcacikSuruAlgoritmasi.pdf> / Erişim Tarihi 19.07.15