

# Kırıkkale University International Journal of Engineering Research and Development

International Peer Reviewed Journal  
e-ISSN: 1308-5514



Volume: 9  
Issue: 2  
JUNE 2017

Kırıkkale Üniversitesi  
Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi  
Uluslararası Hakemli Dergi  
Cilt: 9 Sayı:2 Haziran 2017



**MÜHENDİSLİK  
FAKÜLTESİ**

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY**

**Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi  
International Journal of Engineering Research and Development**

**Sahibi / Owner**

Ekrem YILDIZ  
Rektör / Rector

**Editör/Editor**

Ali ERİŞEN  
Dekan / Dean

**Yardımcı Editörler / Associate Editors**

Ertuğrul ÇAM  
Murat LÜY

**Alan Editörleri / Area Editors**

Adnan AKTEPE - Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering  
Tolga EREN - Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering  
Atilla ERGÜZEN - Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering  
İlker KALKAN - İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering  
Hakan ARSLAN - Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering

**Yazışma Adresi /Address**

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 71450-  
Kampüs- Kırıkkale- TÜRKİYE  
<http://ijerad.kku.edu.tr>  
[ijerad@kku.edu.tr](mailto:ijerad@kku.edu.tr)  
**Tel :** +90-318-357-42 42 (1001)  
**Fax:** +90-318-357-24 59

**ISSN - Online:** 1308-5514

**Haziran / June 2017**

**Kapak Tasarım / Graphics Design :** Hüseyin AYDİLEK

**Danışma Kurulu / Editorial Board**  
(Alfabetik Sıralama / Alphabetical)

- A. Serdar YILMAZ Sütçü İmam Üniversitesi  
Ahmet Kürşat TÜRKER Kırıkkale Üniversitesi  
Ali Payıdar AKGÜNGÖR Kırıkkale Üniversitesi  
Ayten ÇELEBİ KESKİN Kırıkkale Üniversitesi  
Burak BİRGÖREN Kırıkkale Üniversitesi  
Hasan Şakir BİLGE Gazi Üniversitesi  
Hüseyin CANBOLAT Yıldırım Beyazıt Üniversitesi  
İbrahim UZUN Kırıkkale Üniversitesi  
İlhami DEMİR Kırıkkale Üniversitesi  
İlhan KOCAARSLAN İstanbul Üniversitesi  
İsa NAVRUZ Ankara Üniversitesi  
M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU Gazi Üniversitesi  
M. Tunay GENÇOĞLU Fırat Üniversitesi  
Mehmet Ali AKÇAYOL Gazi Üniversitesi  
Metin DAĞDEVİREN Gazi Üniversitesi  
Mustafa YİĞİTOĞLU Kırıkkale Üniversitesi  
Mustafa TÜRK Kırıkkale Üniversitesi  
Nihat İNANÇ Kırıkkale Üniversitesi  
Osman YILDIZ Kırıkkale Üniversitesi  
Ömer Muhammet SOYSAL Louisiana State University  
Recep ÇALIN Kırıkkale Üniversitesi  
Süleyman ERSÖZ Kırıkkale Üniversitesi  
Tamer EREN Kırıkkale Üniversitesi  
Ümit Sami SAKALLI Kırıkkale Üniversitesi



MÜHENDİSLİK  
FAKÜLTESİ

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY**

**Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi**  
**International Journal of Engineering Research and Development**

#### **Amaç**

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi mühendisliğin tüm disiplinlerinde çalışılmış olan orijinal ve yüksek kalitedeki araştırma sonuçlarını basan ve teşvik eden bir araştırma dergisidir. Akademisyenler, bilim adamları, üniversitelerdeki araştırmacılar ve ilgi duyan herkesin çalışmaları basım için düşünülebilir.

#### **Aim**

International Journal of Engineering Research and Development is a peer-reviewed international research journal aiming at promoting and publishing original high-quality research in all disciplines of engineering sciences and technology. Manuscripts are invited from academicians, scientists, researchers of universities and industry and for all interested people for publication consideration.

#### **Araştırma Alanı**

Mühendislik Teorisi ve Uygulamaları

#### **Research Highlights**

Engineering Theory and Applications

#### **Kapsam**

Derginin ilgi alanlarında, sınırlama olmaksızın, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Makina Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve Endüstri Mühendisliği bulunmaktadır.

#### **Scope**

Areas includes (but not limited to) all issues in Electrical&Electronics Engineering, Mechanical Engineering, Civil Engineering, Computer Engineering and Industrial Engineering.

#### **Yazarlara Bilgi**

Ayrıntılı bilgi için lütfen <http://ijerad.kku.edu.tr/> adresini ziyaret ediniz.

#### **Authors Information**

For detailed information please visit <http://ijerad.kku.edu.tr>

## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

1	<b>Kırıkkale Üniversitesi Güvenlik Görevlileri İçin Vardiya Çizelgeleme Problemine Bir Çözüm Önerisi</b> <i>Shift Scheduling Problem a Solution Suggestion for Safety Officers in University of Kırıkkale</i> Ceren CİRİTÇİOĞLU, Senanur AKGÜN, Emre VARLI, Tamer EREN	1-23
2	<b>Türkiye’deki Depremlerde Alınan ve Alınabilecek Önlemler</b> <i>Taken and Need to Take Precautions in Turkey's Earthquakes</i> Murat BİKÇE	24-31
3	<b>Anyonik Boyaların Giderilmesi için 4-VP-g-PET Lif ve N-Oksit Türevinin Sentezi</b> <i>Synthesis of 4-VP-g-PET Fibers and Its Derivate N-Oxide for Removal Anionic Dye</i> Metin ARSLAN, Kübra GÜNAY	32-40
4	<b>Kuvars ve Metakaolen Katkısının Jeopolimerlerin Özellikleri Üzerine Etkisi</b> <i>The Impact of Quartz and Metakaolen Additives on the Properties of Geopolymers</i> Tuna AYDIN	41-49
5	<b>Maden Ocaklarını Gerçek Zamanlı İzleme ve Görüntüleme Yazılım Uygulaması</b> <i>Real-Time Tracking and Monitoring Software Application for Underground Mines</i> Atilla ERGÜZEN, Halil İbrahim LÜY	50-58
6	<b>The Temperature-Pressure-Frequency Relationship Between Electrical Power Generating in Stirling Engines</b> <i>Mehmet Sait CENGİZ, Mehmet Salih MEMİŞ, Metin KAYNAKLI</i>	59-64
7	<b>7075, 6061 ve 2024 Alüminyum Alaşımlarının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasının Karşılaştırılması</b> <i>Comparison of Surface Roughness and Tool Wear in Turning of 7075, 6061 and 2024 Aluminum Alloys</i> Muharrem PUL	65-75
8	<b>Programlanabilir Lojik Denetleyici Tabanlı Rüzgâr İzleme Sistemi Uygulaması</b> <i>Application of Wind Monitoring System Based on Programmable Logic Controller</i> Hayati MAMUR, Enes BEKTAŞ, Adem ÇİÇEK, Fatih KORKMAZ, İsmail TOPALOĞLU, Murat ARI	76-85
9	<b>Akaryakıt Sektörü için Metamalzeme Tabanlı Sensör Tasarımı ve Uygulaması</b> <i>Metamelike Based Sensor Design and Application for Fuel Sector</i> Furkan DİNÇER, Kemal DELİHACIOĞLU, Mehmet Ali TÜMKAYA, Muharrem KARAASLAN, Cumali SABAH	86-91
10	<b>Farklı Mesafe ve Açılarda RF Yayılımına Maruz Kalan İnsan Kafasındaki Sıcaklık ve Özgül Soğurma Oranı Dağılımı</b> <i>Temperature and Specific Absorption Rate Distribution in the Human Head Exposed to RF Propagation at Different Distances and Angles</i> Fulya ÇALLIALP KUNTER, Funda CIRIK ACIKAYA	92-102
11	<b>Adsorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinde Zeolit- Su Buharı Isıl Performansının İncelenmesi</b> <i>Investigation of Zeolite-Water Vapor Thermal Performance in Adsorption Cooling Systems</i> Türker AKKOYUNLU, İbrahim UZUN	103-110

- Yatay Eksenli Bir Rüzgâr Türbin Kanat Dizaynı**  
*Design of Horizontal Axis Wind Turbine Blade*  
12 *Mehmet TEKELİ, Mehmet ÖZTÜRK, Mehmet BAHADIR* **111-118**
- Akrilamid-Krotonik Asit İç İçe Geçmiş Ağ Yapılı Hidrojellerinin Metilen Mavisinin Adsorpsiyonunda Kullanımı**  
13 *The Use of Acrylamide-Crotonic Acid Nested Network Structured Hydrogels for Adsorption of the Methylene Blue*  
*Murat İNAL, Beste ÇAĞDAŞ TUNALI, Mustafa YİĞİTOĞLU* **119-130**
- Ion Concentrations and Sources Of Sequential Sampling Of Wet Deposition In Istanbul, Turkey**  
14 *Ilker ORUC, Bulent Oktay AKKOYUNLU, Murat DOGRUEL, Mete TAYANC* **131-136**
- Kantil Regresyon**  
*Quantile Regression*  
15 *Arzu ALTIN YAVUZ, Ebru GÜNDOĞAN AŞIK* **137-146**





## Kırıkkale Üniversitesi Güvenlik Görevlileri İçin Vardiya Çizelgeleme Problemine Bir Çözüm Önerisi

### Shift Scheduling Problem a Solution Suggestion for Safety Officers in University of Kırıkkale

Ceren CİRİTCİOĞLU<sup>1</sup>, Senanur AKGÜN<sup>1</sup>, Emre VARLI<sup>1</sup>, Tamer EREN\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 16/02/2017

Kabul/Accepted: 27/04/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Güvenlik ihtiyacı insanın varoluşundan bu yana en temel gereksinimlerden biridir. Güvenlik görevlileri insanları rahat bir ortamda yaşatmak ve dış tehlikelerden korumakla yükümlüdür. Bu personellerin çalışma yerlerinde genellikle vardiyaya dayalı bir çalışma sistemi mevcuttur. Buna bağlı olarak verilen hizmetin çok iyi bir şekilde yerine getirilmesi için güvenlik görevlilerinin günlük çalıştıkları vardiyaların düzenli ve sistemli bir biçimde planlanması gerekmektedir. Bu çalışmada da Kırıkkale Üniversitesinde çalışmakta olan güvenlik görevlilerinin günlük atandıkları vardiyaların adaletli ve dengeli bir biçimde hazırlanması amaçlanmıştır. Kadrolu erkek, sözleşmeli erkek ve sözleşmeli kadın güvenlik görevlilerinin çalışma koşulları farklı açılardan ele alınmıştır. Problemin çözümünde hedef programlama yönteminden yararlanılmıştır. Matematiksel modelin çözümünde ise ILOG Cplex Optimizasyon programı kullanılmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Vardiya çizelgeleme, Hedef programlama, Güvenlik görevlileri”

#### Abstract

The need for security is one of the most fundamental needs of man since its existence. Security officers are obliged to keep people in a comfortable environment and to protect them from external hazards. There is usually a shift-based working system in the workplaces of these personnel. Therefore, in order to ensure that the service provided is performed in a very good manner, the daily shift of the security officers needs to be planned in a regular and systematic way. In this study, it was aimed that the security officers working at Kırıkkale University prepare daily shifts in a fair and balanced way. The working conditions of the permanent male, contracted male and female security officers are taken from different angles. The goal programming method was used to solve the problem. ILOG Cplex Optimization program was used to solve the mathematical model.

#### Key Words

“Shift planning, Goal programming, Security officers”

## 1. GİRİŞ

Vardiya çizelgeleme problemleri bazı kısıtlar altında, çalışan personellerin görev dağıtımından oluşmaktadır. Bu kısıtları birbiriyle uyumlu bir biçimde yürütmek zor bir iştir. Temel kısıtlar ayrı ayrı değerlendirilip birbirleriyle çakışmaması sağlanmalıdır. Çizelgeleme hazırlanırken personellerin çalışma tercihleri, izin günleri, hafta sonları çalışma günleri ve yıllık tatil dönemleri gibi hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada vardiya çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çalışmada güvenlik görevlilerinin aylık çalışma çizelgesi yapılmış ve işgücü minimize edilmeye çalışılmıştır. Çizelgelemeyi yaparken çalışanların sayıları, cinsiyetleri ve çalıştıkları bölümleri aynı anda değerlendirerek çizelgeleme oluşturulmuştur. Kırıkkale Üniversitesi güvenlik görevlilerinin vardiya çizelgelemesi, ilgili bölüm amiri tarafından yapılmaktadır. Uygulanmakta olan planda sözleşmeli erkek güvenlik görevlisi sayısı 81, kadrolu erkek güvenlik görevlisi sayısı 60 ve sözleşmeli kadın güvenlik görevlisi sayısı 9 olup toplamda 150 güvenlik görevlisi çalışmaktadır. Bu çalışmada problem hedef programlama yöntemi ile çözülmüştür ve Kırıkkale Üniversitesi Güvenlik Müdürlüğünde uygulanmıştır.

Yapılan çalışmanın planı şu şekildedir: Çalışmanın ikinci bölümünde vardiya çizelgeleme konusu, üçüncü bölümünde hedef programlama, dördüncü bölümünde literatür araştırması, beşinci bölümde yapılan uygulama anlatılmış ve altıncı bölümde de yapılan çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir.

## 2. VARDİYA ÇİZELGELEME

Vardiyalı çizelgeleme, başlangıç ve bitiş saatlerinin işletmenin yapısına ve faaliyet gösterdiği işkoluna göre değişiklik gösteren işgücünü, maliyetleri minimize ederek, maksimum fayda elde etmeyi amaçlayan bir sistemdir. İş günü genellikle sabah, akşam ve gece vardiyası olarak bölümlendirilir (Yüksel, 2004).

Vardiya çizelgeleme problemleri bir kurum veya kuruluşta çalışan personellerin belirlenmiş olan vardiyalara kurumun çalışma koşullarını yansıtarak düzenli ve sistemli bir çalışma planı oluşturmaktır. Bu çizelgelemelerde bazen çalışan personellerin özel izin ve istekleri yerine getirilerek, bazen de personelleri uzman oldukları iş kollarına atayarak çalışma planlarına ek olarak değerlendirilebilmektedir. Vardiyalı çalışma sistemi, kamu ve özel sektörde olmak üzere birçok yerde kullanılmakta olan bir sistemdir (Varlı ve Eren, 2016). İş gücünün planlı bir şekilde teknolojik yeniliklere uyum sağlayarak kullanılmasıyla verimli sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Etkili bir vardiya planından insanların fiziksel ve zihinsel sağlığı üzerindeki kötü faktörleri minimize etmesi ve performans açısından da maksimum değerde fayda sağlanması beklenir.

Vardiya Çizelgeleme konusunda ilk olarak George Bernard Dantzig (1954) yılında çalışmıştır. Amacı her grup için maliyeti minimize ederek, gerekli personel ihtiyacını sağlamaktır. Vardiya çalışması güvenlik, ulaşım, iletişim ve sağlık endüstrisi gibi hizmet ya da üretimin ekonomik ve kamusal açıdan sürekliliği olan alanlarda tercih edilen bir sistemdir. Vardiya planlaması problemlerinin çözümünde kullanılan çok fazla yöntem vardır. Bunlardan bazıları, tam sayılı programlama, hedef programlama, dinamik programlama ya da sezgisel programlama yöntemleridir. Bu çalışma da hedef programlama yönteminden yararlanılmıştır.

## 3. HEDEF PROGRAMLAMA

Hedef programlama çalışmalarının ilki Charnes vd. (1955) yılında gerçekleşmiştir. Charnes ve Cooper (1961) yılında ise hedef programlamayı geliştirmeye çalışmışlardır.

Hedef programlama çok kriterli karar verme tekniklerinden bir tanesidir. Bu yöntem de amaç fonksiyonun maksimizasyonu ya da minimizasyonu yerine var olan kısıtlarla belirlenen hedeflerden sapma değişkenleri minimize yapılmaya çalışılmaktadır. Yani hedef programlamada sorunun amacı, sapmayı ifade eden değişkenlerin toplamının minimize edilmesidir

Sapma değişkenleri hedef programlamada genellikle di+ ve di- simgesiyle gösterilir. Sapma değişkenleri negatif değerli olmazlar ve bir hedefin hem üstünde hem altında bir anda olunamayacağından, bunlardan birinin değeri de daima 0 olur. Hedef kısıtlayıcılarına bağlı olarak sapma değişkenleri istenen veya istenmeyen değişken olarak da adlandırılabilir. Hedef programlama her amacın verilen hedeflere mümkün olduğunca ulaşmasını amaçlar ve hedefteki sapmaları minimize etmektedir (Ignizio, 1985).



Matematiksel gösterimi şu şekildedir;

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^t (d_i^+ + d_i^-)$$

$$\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j + d_i^+ + d_i^- = k_i$$

$$d_i^+ * d_i^- = 0$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad i=1\dots t \quad j=1\dots n$$

Değişkenler

$x_j$ : j. Karar değişkeni

$w_{ij}$ : i. hedefin j. karar değişkeni katsayısı

$k_i$  : i. hedef için ulaşılmak istenen değer

$d_i^+$  : i. hedefin pozitif sapma değişkeni

$d_i^-$  : i. hedefin negatif sapma değişkeni

#### 4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Vardiya çizelgeleme ile ilgili birçok farklı sektörde çalışma bulmak mümkündür. Çalışmaların büyük bir bölümü sağlık sektöründe hemşire çizelgeleme konusunda yapılmış olsa da özel şirketlerde, fabrikalarda ve devlette çalışan personeller için de farklı iş disiplinleri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Vardiya çizelgeleme ile ilgili yapılmış birtakım çalışmalara aşağıda değinilmiştir.

Segal (1974), vardiya uzunluğuna dayanan çizelgeleme problemlerini, geliştirdiği şebeke diyagramı formülasyonu ile çözümlenmiştir. Keith (1979) vardiya çizelgeleme konusunda tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir. Bu modelde işgücündeki eksiklik ve fazlalığa izin verilmiş buna göre çizelgelemede maliyeti minimize etmeye çalışmıştır. Özkarahan ve Bailey (1988) çalışmasında hem hastane için hem de hemşire isteklerini yerine getirmek için bir model oluşturmuştur. Günler ile saatler arasında bir esneklik oluşturulmuş ve hastanelerde uygulamaya koyulmuştur. Sowler ve Mabert (1988) hemşire çizelgelemede farklı bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmasında vardiyanın başlama ve bitiş sürelerine esneklik sağlamışlardır. Ancak vardiya sürelerinin farklı olması hemşirelerin dinlenme zamanlarında problemler yaşamalarına sebep olmuştur. Burada amaç hemşire maliyetinin minimize edilmesidir. Aykin (1996) optimal vardiya planlaması için geliştirmiş olduğu tam sayılı matematiksel modeli bulanıklaştırarak farklı bir problem üzerinde uygulamıştır. Thompson (1996) çalışanların çalışma sürelerinin sınırlı olduğu durumlar için vardiya planlaması oluşturmuş ve çalışmasında vardiya uzunluğu, molalar, vardiya başlama ve bitiş zamanları konusunda fazlaca esnekliğe izin veren optimal vardiya çizelgesini oluşturmayı amaçlayan tam sayılı programlama modelini geliştirmiştir. Bard vd. (2003) ABD posta servisinde personel planlaması üzerine işgücünün en küçüklenmesini amaçlayarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Tam ve yarı zamanlı çalışanlarla tam sayılı modelleme yöntemini kullanarak problemi çözümlenmişlerdir. Topaloğlu ve Özkarahan (2004) çalışmalarında tur çizelgeleme problemini araştırmışlardır. Amaçları çalışanların istek ve ihtiyaçlarına yönelik bir çizelgeleme oluşturmaktır. Çözüm için Hedef programlama modelini önermişlerdir. Ernst vd. (2004) yaptıkları çalışmada personel çizelgeleme problemi üzerine yapılan çalışmaları uyguladıkları alanlara göre sınıflamıştır. Uygulama alanlarına göre çalışmaları, üretim finansal hizmetler, organizasyon yönetimi, çağrı merkezleri turizm hizmetleri, sağlık hizmetleri, lojistik sistemler, sivil hizmetler ve güvenlik ve acil hizmetler vb. gruplara ayırarak sınıflandırmıştır. Çözüm yöntemlerine göre ise; yapay zekâ, matematiksel modeller, sezgisel modeller (heuristik modeller), kısıt programlama, talep modelleme olarak sınıflandırmıştır. Ernst vd. (2004) Geçmişte yapılan çalışmalara göre 700'den fazla problemin modellerini ve çözümlerini incelemişlerdir. Moz ve Pato (2004) çalışmalarında Portekiz devlet hastanesinde hemşirelerin nöbet planlamasının çözümü için bir model oluşturulmuştur. Problem tam sayılı programlama yöntemi ile çözümlenmiştir. Azaiez ve Sharif, (2005) bu çalışmada anket metodunu kullanmışlardır ve bunun sonucuna göre hemşire ve hastanenin istekleri karşılanmaya çalışılmıştır. Riyadh Al-Kharj Hastanesinde 0-1 tam sayılı hedef programlama yaklaşımını kullanarak bir hemşire çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Çalışmada fazla mesai gibi durumları

minimize etmeyi amaçlarken hemşirelerin istekleri de göz önünde bulundurulmuştur. Hemşirelerin tercihlerini öğrenmek için anket çalışması yapılmıştır. Hedef programlama modeli ile problemin çözümü sağlanmıştır. Seçkiner ve Kurt (2005) çalışmalarında belirli bir işçi, belirli zamanda, minimum maliyete göre çizelgelenmiş ve farklı faktörleri de göz önünde bulundurulmuşlardır. Horn vd. (2007) yaptıkları çalışmada Avustralya Kraliyet Donanması için karakol botları ve mürettebatını çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Sungur (2008) çalışmasında güzellik salonu çalışanlarının çizelgelemesini yapabilmek için, her bir işçinin haftanın hangi günlerinde ve günün hangi saatlerinde çalışacağını belirlemiştir. Amaç, her bir çalışma günü ve saati için ihtiyaç duyulan işgücü sayısını minimum maliyetle karşılamak şartıyla, her bir tura atanacak işgücü sayısının belirlenmesidir. Bozbura vd. (2008) yaptıkları çalışmalarında kritik görevlerdeki işçilerin nöbet planlaması problemini incelemişlerdir. Üretim maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Brunner vd. (2009) bir hastanede psikiyatri bölümünde çalışan doktorların vardiya çizelgeleme problemini araştırmışlardır. Amaç hastanenin maaş maliyetlerini minimize etmesidir. Günther ve Nissen (2010) çalışmalarında meta-sezgisel optimizasyon olan parçacık sürüm optimizasyonunu kullanmışlardır. Bu yöntemle vardiya çizelgeleme çalışmalarını geliştirebileceklerini düşünmüşlerdir. Oluşturdukları model ile bir lojistik şirketi çalışanlarına çizelgeleme yaparak uygulamaya koymuşlardır. Karaatlı (2010) çalışmasında hemşirelerin iş yoğunluklarına göre, bulanık çok amaçlı doğrusal bir model önerisinde bulunmuştur. Burke vd. (2010) çok fazla kısıttan oluşan hemşire çizelgeleme problemini değişken komşu arama algoritmasını tam sayılı programlama ile birleştirerek çok amaçlı melez bir model oluşturmuştur. Glass ve Knight (2010) çalışmalarında hemşireler için nöbet çizelgeleme problemini incelenmişlerdir. Problemin çözümünde karışık tam sayılı programlama yöntemini kullanmışlardır. Ronnberg ve Larsson (2010) çalışmalarında bir hastane çalışanlarının vardiya planlaması konusunda bir matematiksel model geliştirilmiştir. Wright ve Bretthauer (2010) çalışmalarında hastanede çalışan hemşirelerin en verimli şekilde vardiya planlamasını oluşturmak için bir çözüm uygulamışlardır. Brunner ve Edenharter (2011) çalışmalarında bir hastanede çalışan personellerin çalışma çizelgesini hazırlamışlardır. Karışık tam sayılı programlama modeli kurarak sezgisel algoritma ile çözümler ve hastanede uygulamaya konmuştur. Bağ vd. (2012) yaptıkları çalışmada hemşire çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Hedef programlamada ağırlıkları ANP ile belirlenmiştir. Kurulan model, Kırıkkale’de hizmet veren bir devlet hastanesinde uygulanmıştır. Çalışmanın sonunda mevcut durum ve sonuç kıyaslanmıştır, sonuçlar değerlendirilmiştir. Fırat ve Hurkens (2011) çalışmalarında tam sayılı programlama kullanmışlardır. Kıdeme göre farklı yetenek isteyen işleri o kişilere atayarak iş düzeni çizelgelemesi yapmışlardır. Li vd. (2012) çalışmalarında hedef programlama ile sezgisel yöntemleri bir arada kullanmıştır, hibrit bir yaklaşımla personel çizelgelemesi yapmışlardır. Labadi vd. (2014) çalışmalarında çok amaçlı hedef programlama kullanmışlar ve Banka Bilgi Teknolojileri personeli için çizelgeleme çalışması yapmışlardır. Öztürkoğlu ve Çalışkan (2014) çalışmalarında hemşire çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Kurdukları modelin amacı, çizelgeleme boyunca hemşirelerin kendilerine tanınan esnek işe başlama saatlerinden yararlanarak istedikleri saatte işe başlamaları halinde elde edecekleri tatmini maksimize etmektir. Todovic vd. (2015) çalışmasında hedef programlama modeli kullanmıştır. Bosna Hersek’teki bir polis karakolu ele alınmış ve buradaki polis memurlarının vardiya çizelgelemesi üzerine çalışılmıştır. Ünal ve Eren (2016) yaptığı çalışmada nöbet çizelgeleme problemi üzerine çalışmıştır. Çalışanlardan ilk önce çalışmayacakları günleri belirlemeleri istenmiştir. Daha sonra kıdem seviyeleri göz önünde bulundurularak nöbet çizelgeleme yapılmıştır. Yağcıoğlu vd. (2016) çalışmasında bir kredi yurtlar kurumunda güvenlik görevlisi sayısının minimize edilmesi için vardiya çizelgeleme problemini ele almıştır. Varlı ve Eren (2017b) çalışmalarında bir fabrikada çalışan şeflerin iş gücü çizelgeleri için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Varlı vd. (2016a) raylı sistemlerde çalışan vatmanları birer ekip halinde ele alarak aylık çalışma planlarının düzenlenmesi için bir çalışma sunmuşlardır. Varlı vd. (2016b) Ankara M1 (Batkent-Kızılay) hattında çalışan vatmanların tecrübelerine göre ihtiyaç duyulan iş gücünün karşılanması adına bir matematiksel model önermişlerdir. Varlı ve Eren (2017a) çalışmalarında Kırıkkale’de hizmet veren bir hastanede çalışan hemşirelerin vardiya planlarının adil bir şekilde yapılmasını sağlamışlardır. Şahiner vd. (2017) çalışmalarında hemşire çizelgeleme problemini ele almışlardır. Hemşirelere verilen kişisel izinler ve doğum izinleri gibi özel sebeplerle birlikte bir hedef programlama modeli sunmuşlardır. Özcan vd. (2017) çalışmalarında hidroelektrik santrallerinde çalışan personellerin aylık vardiya çizelgelerini işletmenin kuralları doğrultusunda planlamışlardır. Her bir vardiyaya belirlenen kıdem seviyelerine göre atamalar gerçekleştirmişler ve geliştirdikleri matematiksel model ile personellerin daha dikkatli ve konsantre bir şekilde çalışmalarını sağlamışlardır.

## 5. UYGULAMA

Bu çalışmada Kırıkkale Üniversitesi’nde çalışan güvenlik görevlilerin aylık çalıştıkları bölümlere adaletli ve dengeli bir şekilde atanması istenmiştir. Bu görevliler sözleşmeli erkekler ve kadınlar, kadrolu erkekler olmak üzere çalışma koşulları değerlendirilmiştir. Ek olarak bu sınıflandırmalara göre kişisel kısıtlarda kullanılmıştır. Güvenlik görevlilerinin çalıştıkları 19 bölüm ve 3 vardiya vardır. Çalıştıkları bölümler şu şekildedir: A giriş kapısı (AK), B giriş kapısı (BK), C giriş kapısı (CK), Tıp (TF), Diş Hekimliği (DHF), Mühendislik (MF), Güzel Sanatlar (GSF), Eğitim (EF), Fen Edebiyat (FEF), Veterinerlik (VF), Hukuk (HF), İktisadi ve İdari Birimler (İİBF), İslami İlimler (İİF) Fakülteleri, Beden Eğitimi Ve Spor Yüksekokulu (BESYO),

Meslek Yüksek Okulu (MYO), Kütüphane (KTP), Öğrenci İşleri (Öİ), Rektörlük A (RA), Rektörlük B (RB) ve Kamera (KMR) yerleridir. Vardiyalar ise Sabah-S, Akşam-A, Gece-G olarak gösterilmiştir. Her bir vardiyanın saat dilimleri ise Sabah (08:00-16:00), Akşam (16:00-24:00), Gece (24:00-08:00).

Çalışmada oluşturulan matematiksel modellerde aşağıda verilen güvenlik görevlilerinin çalışma prensipleri kullanılmıştır.

Güvenlik Görevlilerinin Çalışma Koşulları:

- Her bölümde ihtiyaç duyulan görevli sayısı karşılanmalıdır.
- Kadrolu güvenlik görevlileri ardı ardına en fazla 5 gün çalışmalıdır haftada 2 gün izin verilmelidir.
- Sözleşmeli erkek güvenlik görevlileri ardı ardına en fazla 6 gün çalışmalıdır ve haftada 1 gün izin verilmelidir.
- Sözleşmeli bayan güvenlik görevlileri sadece sabah vardiyasında çalışmalıdır.
- Üç vardiya çalışan her bir güvenlik görevlisi için gece vardiyasında çalıştığı takdirde ertesi gün ki sabah ve akşam vardiyalarında çalışmamalıdır.
- Üç vardiya çalışan her bir güvenlik görevlisi için akşam vardiyasında çalıştığı takdirde ertesi gün ki sabah vardiyasında çalışmamalıdır.
- Her bir güvenlik görevlisi günlük sadece bir vardiyada çalışmalıdır ve vardiyaları birleştirilmemelidir.
- Tüm güvenlik görevlilerinin aylık çalıştıkları toplam vardiyalar mümkün olduğu kadarıyla eşit olmalıdır. Bu kriter sağlanırken kadrolu erkek, sözleşmeli erkek ve sözleşmeli kadın güvenlik görevlileri ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

Parametreler:

n: Üniversitede çalışan güvenlik görevlisi sayısı  $n=150$

m: Gün sayısı  $m=30$

t: Vardiya sayısı  $t=3$

p: Bölüm sayısı  $p=20$

i: Görevli indeksi  $i=1,2,\dots,n$ .

j: Gün indeksi  $j=1,2,\dots,m$ .

k: Vardiya indeksi  $k=1,2,\dots,t$ .

l: Bölüm indeksi  $l=1,2,\dots,p$ .

$a_{jkl}$ : j. gündeki, k. vardiyada, l. bölümde ihtiyaç duyulan kadrolu erkek görevli sayısıdır ve EK 1'de verilen tabloda gösterilmiştir.

$b_{jkl}$ : j. gündeki, k. vardiyada, l. bölümde ihtiyaç duyulan sözleşmeli erkek görevli sayısıdır ve EK 1'de verilen tabloda gösterilmiştir.

$c_{jkl}$ : j. gündeki, k. vardiyada, l. bölümde ihtiyaç duyulan sözleşmeli kadın görevli sayısıdır ve EK 1'de verilen tabloda gösterilmiştir.

EK 1'de verilen ihtiyaç duyulan güvenlik görevli sayıları tek bir tabloda verilmiştir. Bu tablodaki sayılar aylık çizelgedeki tüm gün boyunca aynıdır.

Karar Değişkenleri:

$$X_{ijkl} = \begin{cases} 1, & i. \text{ görevli } j. \text{ g\u00fcndeki } k. \text{ vardiyaya } l. \text{ b\u00f6l\u00fcm\u00e9 atan\u0131rsa} \\ 0, & \text{di\u011fer durumlarda} \end{cases}$$

$i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad k=1,2,\dots,t \quad l=1,2,\dots,p$

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, & i. \text{ görevli } j. \text{ g\u00fcnde izinli ise} \\ 0, & \text{di\u011fer durumlarda} \end{cases} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n$$

Kısıtlar:

1. Kısıt: G\u00fcnl\u00fck her b\u00f6l\u00fcmdeki vardiyalarda ihtiya\u00e7 duyulan g\u00fcvenlik g\u00f6revli sayıları kar\u015fılanmalıdır.

Kadro lu erkek g\u00fcvenlik g\u00f6revlileri,

$$\sum_{i=1}^{60} X_{ijkl} = a_{jkl} \quad j=1,2,\dots,m \quad k=1,2,\dots,t \quad l=1,2,\dots,p$$

S\u00f6zle\u015fmeli erkek g\u00fcvenlik g\u00f6revlileri,

$$\sum_{i=61}^{141} X_{ijkl} = b_{jkl} \quad j=1,2,\dots,m \quad k=1,2,\dots,t \quad l=1,2,\dots,p$$

S\u00f6zle\u015fmeli kadın g\u00fcvenlik g\u00f6revlileri,

$$\sum_{i=142}^{150} X_{ijkl} = c_{jkl} \quad j=1,2,\dots,m \quad k=1,2,\dots,t \quad l=1,2,\dots,p$$

2. Kısıt: Her g\u00fcvenlik g\u00f6revlisinin g\u00fcnl\u00fck belirlenmi\u015f olan vardiyalardan sadece birinde \u00e7alı\u015ması gerekmektedir.

$$\sum_{k=1}^t \sum_{l=1}^p X_{ijkl} \leq 1 \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,m$$

3. Kısıt: E\u011fer bir g\u00fcvenlik g\u00f6revlisi herhangi bir g\u00fcn izinliyse, izinli oldu\u011fu g\u00fcn \u00e7alı\u015mamalıdır.

$$\sum_{k=1}^t \sum_{l=1}^p X_{ijkl} \leq (1 - h_{ij}) \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,m$$

4. Kısıt: Kadro lu olan her bir g\u00fcvenlik g\u00f6revlisi ard\u0131 ardına en fazla 5 g\u00fcn \u00e7alı\u015malıdır.

$$h_{ij} + h_{i(j+1)} + h_{i(j+2)} + h_{i(j+3)} + h_{i(j+4)} + h_{i(j+5)} \geq 1 \quad i=1,2,\dots,60 \quad j=1,2,\dots,m-5$$

5. Kısıt: S\u00f6zle\u015fmeli olan her bir g\u00fcvenlik g\u00f6revlisi ard\u0131 ardına en fazla 6 g\u00fcn \u00e7alı\u015malıdır.

$$h_{ij} + h_{i(j+1)} + h_{i(j+2)} + h_{i(j+3)} + h_{i(j+4)} + h_{i(j+5)} + h_{i(j+6)} \geq 1 \quad i=61,62,\dots,150 \quad j=1,2,\dots,m-6$$

6. Kısıt: S\u00f6zle\u015fmeli ve kadro lu erkek g\u00fcvenlik g\u00f6revlileri gece vardiyasında \u00e7alı\u015tı\u011fında ertesi g\u00cn sabah ve ak\u015fam vardiyalarında \u00e7alı\u015mamalıdır.

$$\sum_{l=1}^p X_{ij3l} + X_{i(j+1)1l} + X_{i(j+1)2l} \leq 1 \quad i=1,2,\dots,141 \quad j=1,2,\dots,m-1$$

7. Kısıt: S\u00f6zle\u015fmeli ve kadro lu erkek g\u00fcvenlik g\u00f6revlileri ak\u015fam vardiyasında \u00e7alı\u015tı\u011fında ertesi g\u00cn sabah vardiyasında \u00e7alı\u015mamalıdır.

$$\sum_{l=1}^p X_{ij2l} + X_{i(j+1)1l} \leq 1 \quad i=1,2,\dots,141 \quad j=1,2,\dots,m-1$$

8. Kısıt: Aylık planlama d\u00f6nemi boyunca her bir g\u00fcvenlik g\u00f6revlisinin sabah, ak\u015fam veya gece vardiyalarına toplam en az atanması gereken sayılarıdır.

Kadro lu erkek g\u00fcvenlik g\u00f6revlileri,

$$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^p X_{ij1l} \geq 10 \quad i=1,2,\dots,60$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^p X_{ij2l} \geq 6 \quad i=1,2,\dots,60$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^p X_{ij3l} \geq 3 \quad i=1,2,\dots,60$$

S\u00f6zle\u015fmeli erkek g\u00fcvenlik g\u00f6revlileri,

$$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^p X_{ij1l} \geq 8 \quad i=61,62,\dots,141$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^p X_{ij2l} \geq 8 \quad i=61,62,\dots,141$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^p X_{ij3l} \geq 7 \quad i=61,62,\dots,141$$

#### Hedef Kısıtları

Hedef 1- Her bir kadrolu güvenlik görevlilerinin aylık çalışma planında atandıkları toplam vardiya sayılarının mümkün olduğu kadar eşit olması gerekmektedir.

$$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^p \sum_{k=1}^t X_{ijkl} + d1_i^- - d1_i^+ = 21 \quad i=1,2,\dots,60$$

Hedef 2- Her bir sözleşmeli erkek güvenlik görevlilerinin aylık çalışma planında atandıkları toplam vardiya sayılarının mümkün olduğu kadar eşit olması gerekmektedir.

$$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^p \sum_{k=1}^t X_{ijkl} + d2_i^- - d2_i^+ = 25 \quad i=61,62,\dots,141$$

Hedef 3- Her bir sözleşmeli kadın güvenlik görevlilerinin aylık çalışma planında atandıkları toplam vardiya sayılarının mümkün olduğu kadar eşit olması gerekmektedir.

$$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^p \sum_{k=1}^t X_{ijkl} + d3_i^- - d3_i^+ = 23 \quad i=141,142,\dots,150$$

#### Amaç Fonksiyonu

$$MinZ = \sum_{i=1}^{60} (d1_i^- + d1_i^+) + \sum_{i=61}^{141} (d2_i^- + d2_i^+) + \sum_{i=142}^{150} (d3_i^- + d3_i^+)$$

Modelin çözümünde "Intel (R) Core (TM) i5-3210 M CPU@2.50 GH" işlemcisi, 8 GB belleği ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayar kullanılmıştır. İlgili verilerin girilmesiyle model ILOG CPLEX Studio IDE programında yazılmış ve CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür.

Aşağıda verilen tablolarda Vardiya (V), Nöbet Yeri (NY), Gün (G), A giriş kapısı (AK), B giriş kapısı (BK), C giriş kapısı (CK), Tıp (TF), Diş Hekimliği (DHF), Mühendislik (MF), Güzel Sanatlar (GSF), Eğitim (EF), Fen Edebiyat (FEF), Veterinerlik (VF), Hukuk (HF), İktisadi ve İdari Birimler (İİBF), İslami İlimler (İİF) Fakülteleri, Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu (BESYO), Meslek Yüksek Okulu (MYO), Kütüphane (KTP), Öğrenci İşleri (Öİ), Rektörlük A (RA), Rektörlük B (RB) ve Kamera (KMR) ile gösterilmiştir.

Aşağıda elde edilen Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7'de herhangi bir güvenlik görevlisinin aylık çalışma planında hangi bölümde çalıştığı gösterilmiştir. Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te kadrolu güvenlik görevlileri için sırasıyla sabah, akşam ve gece vardiyalarında çalıştıkları bölümler, Tablo4, Tablo 5 ve Tablo 6'da sözleşmeli erkek güvenlik görevlileri için sırasıyla sabah, akşam ve gece vardiyalarında çalıştıkları bölümler ve son olarak Tablo 7'de ise sözleşmeli kadın güvenlik görevlilerinin çalıştığı bölümler gösterilmiştir. Tablo 8'de tüm güvenlik görevlilerinin aylık çalışma çizelgesinde atandıkları toplam vardiya sayıları gösterilmiştir. Bu tablo ile tüm güvenlik görevlilerinin mümkün olduğu kadar eşit ve adaletli bir şekilde çalışması unsurunun sağlandığı gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlar tek bir matematiksel modelde ele alınmıştır. Daha önceden çalışma çizelgeleri uzman bir personel tarafından el ile hazırlanmaktaydı. Bu sebeple oluşturulan aylık çalışma çizelgeleri hem zaman açısından uzun sürmekte hem de

hazırlayan kişinin her ay için oluşturduğu çizelge unsuru karmaşık ve zor bir hal almaktaydı. Bu çalışma ile daha hızlı ve daha pratik sonuçlar elde edilmiştir. Ek olarak tüm güvenlik görevlilerini aynı anda değerlendirerek tek bir model üzerinde sonuçlar elde edilmiştir.



**Tablo 1.** Kadrolu Erkek Güvenlik Görevlilerinin Sabah Vardiyası İçin Aylık Çalışma Çizelgesi

V	Sabah Vardiyası														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NY/G	11	40	57	7	58	41	60	44	60	27	34	15	58	56	30
AK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF	38,45	14,52	26,51	50	22,33	34,49	31,46	33,4	3,49	6,4	27,48	1,46	32,43	5,22	3,6
DHF	17	30	13	29	47	5	39	41	47	13	35	50	49	4	45
MF	9,54	10,31	50,58	12,43	4,55	30,57	7,14	19,35	18,4	29,55	28,54	24,29	15,52	12,58	25,56
GSF	1,1	45,59	9,36	14,33	14,34	39,6	18,38	14,53	13,51	2,1	10,41	8,54	19,4	16,54	12,22
EF	60,36	56,43	59,39	34,2	2,41	47,1	4,8	54,38	55,29	59,34	55,46	13,19	56,2	15,24	8,26
FEF	28,12	28,9	31,21	58,38	39,7	33,27	40,23	39,29	44,56	56,51	25,17	53,47	51,17	41,25	53,1
VF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HF	53,41	54,35	43,44	53,11	48,42	58,31	54,3	51,32	41,27	28,18	30,19	48,2	54,21	39,36	55,1
İİBF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİF	6	27	40	6	49	48	49	37	17	58	11	34	34	49	19
BESYO	40,8	23,1	23,1	48,36	29,1	23,9	51,44	49,42	58,2	25,16	29,15	52,7	60,4	55,28	37,24
MYO	60,44	1,59	17,45	5,4	19,8	21,1	12,58	50,11	57,29	3,12	3,28	1,46	54,38	55,1	55,37
KTP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Öİ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RA	57,48	44,12	35,29	59,41	46,32	20,2	32,2	25,16	35,5	44,24	26,13	49,32	38,36	52,37	23,18
RB	31,24	57,29	46,1	46,45	51,5	42,7	42,22	30,2	45,16	48,17	52,24	37,17	53,7	38,1	39,4
KMR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tablo 1. (devamı) Kadrolu Erkek Güvenlik Görevlilerinin Sabah Vardiyası İçin Aylık Çalışma Çizelgesi**

V	Sabah Vardiyası														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
NY/G	56	44	3	35	59	60	60	37	21	58	44	26	51	7	54
AK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF	5, 37	3, 53	21, 41	3, 28	23, 35	12, 57	5, 33	22, 28	19, 2	4, 34	22, 36	12, 56	15, 57	43, 54	16, 49
DHF	26	21	42	46	57	33	57	20	37	31	11	45	34	48	7
MF	18	2, 4	2, 1	10, 54	14, 46	45, 59	14, 22	6, 13, 47	4, 24	9	5, 45	11, 27	7, 21	19, 57	17, 43
GSF	47, 53	18, 3	11, 14	29, 53	4, 5	23, 3	17, 2	10, 48	17, 23	3, 12	3, 12	13, 51	27, 59	13, 6	1, 58
EF	55, 16	5, 15	30, 33	19, 42	10, 2	2, 18	27, 35	9, 15	28, 15	18, 37	43, 6	33, 1	45, 39	46, 3	50, 4
FEF	50, 24	24, 8	28, 29	26, 14	22, 8	19, 47	48, 36	43, 24	53, 16	25, 14	42, 51	19, 14	60, 35	39, 18	25, 22
VF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HF	41, 19	58, 5	27, 15	21, 12	31, 9	55, 5	37, 1	59, 26	33, 8	32, 11	38, 1	42, 7	52, 32	32, 23	52, 13
İİBF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİF	42	41	43	34	2	35	59	35	40	6	10	39	13	50	15
BESYO	10, 11	56, 48	53, 26	9, 8	25, 11	27, 11	26, 4	52, 21	9, 2	38, 21	25, 31	59, 57	49, 38	52, 28	46, 8
MYO	33, 18	38, 45	34, 39	2, 55	8, 34	39, 50	15, 47	2, 60	24, 23	52, 21	22, 59	10, 41	60, 3	44, 18	4, 8
KTP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Öİ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RA	45, 9	14, 27	52, 32	23, 6	36, 16	36, 22	47, 42	33, 4	56, 6	28, 2	46, 21	47, 32	33, 18	47, 15	51, 3
RB	30, 8	45, 42	49, 9	50, 11	55, 37	31, 26	43, 44	60, 3	57, 25	36, 16	14, 16	36, 31	12, 6	38, 25	44, 18
KMR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tablo 2.** Kadrolu Erkek Güvenlik Görevlilerinin Akşam Vardiyası İçin Aylık Çalışma Çizelgesi

V	Akşam Vardiyası														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NY/G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF	25, 2	47, 11	28, 18	21, 16	54, 6	29, 1	47, 34	34, 10	57, 1	39, 8	39, 12	42, 33	8, 6	47, 11	43, 17
DHF	49	16	22	23	43	56	55	48	32	14	40	45	48	43	35
MF	3	49	60	54	12	28	21	52	54	12	59	25	3	7	4
GSF	42	4	54	35	56	21	52	59	50	38	3	14	2	2	51
EF	37	41	4	56	35	26	9	22	30	20	10	59	57	33	21
FEF	34	22	37	27	19	59	17	26	21	31	60	11	9	51	57
VF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hf	4	15	3	13	59	55	24	1	15	60	33	44	45	60	28
İİBF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİF	22	24	15	60	50	53	50	8	12	42	18	16	47	35	49
BESYO	13	33	27	20	45	52	15	12	14	33	16	2	50	46	54
MYO	2	6	19	55	8	16	44	43	1	59	21	60	23	8	16
KTP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Öİ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RA	16, 5	32, 7	25, 8	44, 25	36, 21	17, 13	26, 10	57, 4	33, 4	57, 9	23, 6	39, 18	42, 14	57, 20	36, 7
RB	51, 15	60, 48	55, 24	37, 3	53, 40	36, 19	48, 1	31, 23	38, 8	23, 10	45, 9	27, 3	46, 11	42, 32	38, 2
KMR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tablo 2. (devamı)** Kadrolu Erkek Güvenlik Görevlilerinin Akşam Vardiyası İçin Aylık Çalışma Çizelgesi

V	Akşam Vardiyası														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
NY/G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF	51, 22	22, 12	7, 1	47, 44	14, 7	16, 9	45, 25	49, 39	46, 39	57, 39	18, 15	29, 5	42, 31	41, 14	56, 37
DHF	12	7	4	41	38	32	23	50	10	19	20	3	30	6	28
MF	35	1	19	52	29	52	31	36	41	55	28	30	41	29	11
GSF	31	47	1	19	13	46	7	45	27	15	60	46	40	5	32
EF	59	6	37	48	51	40	30	10	13	50	55	54	20	24	53
FEF	23	25	51	38	52	58	58	58	53	13	48	55	26	20	30
VF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HF	40	39	16	5	21	13	18	54	44	25	58	58	11	53	20
İBF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİF	46	31	47	32	42	25	34	42	50	26	9	23	56	35	48
BESYO	28	59	38	27	34	38	11	18	1	24	40	44	55	30	5
MYO	7	51	22	9	17	50	52	24	34	8	23	31	26	48	45
KTP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Öİ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RA	43, 17	17, 19	44, 22	51, 43	32, 6	53	49, 40	44, 41	45, 49	17, 8	24, 17	28, 24	14, 53	33, 26	35, 19
RB	36, 34	37, 34	31, 18	58, 49	58, 56	56, 6	41, 10	27, 46	52, 43	27, 2	29, 30	37, 29	8, 5	36, 2	36, 26
KMR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tablo 3.** Kadrolu Erkek Güvenlik Görevlilerinin Gece Vardiyası İçin Aylık Çalışma Çizelgesi

V	Gece Vardiyası														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NY/G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DHF	46	2	47	8	18	11	3	24	11	36	51	28	31	44	15
MF	19	19	19	24	25	3	11	9	26	37	56	55	26	9	13
GSF	50	17	32	15	37	25	27	7	36	22	21	22	27	14	29
EF	20	20	30	26	11	12	43	6	52	4	4	10	59	34	27
FEF	26	6	5	18	14	35	58	2	53	1	38	41	23	48	33
VF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HF	58	53	42	1	3	16	56	36	22	50	31	35	44	29	32
İİBF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİF	21	38	49	57	8	6	28	43	46	47	58	23	30	59	58
BESYO	55	42	17	9	24	37	5	46	43	7	57	12	18	13	14
MYO	60	52	28	2	41	10	26	5	12	14	26	59	1	58	30
KTP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Öİ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KMR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tablo 3. (devamı) Kadrolu Erkek Güvenlik Görevlilerinin Gece Vardiyası İçin Aylık Çalışma Çizelgesi**

V	Gece Vardiyası														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
NY/G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DHF	52	13	40	45	28	24	56	47	54	52	41	2	37	47	-
MF	13	46	36	18	1	54	32	12	48	556	52	50	44	59	21
GSF	33	23	45	39	42	28	16	14	51	41	35	17	1	21	55
EF	29	40	60	30	54	3	8	29	42	53	2	10	16	31	41
FEF	32	57	39	60	39	8	19	7	59	7	49	16	22	12	40
VF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HF	60	20	20	5	48	39	51	34	60	23	4	48	17	9	45
İİBF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİF	49	54	57	33	5	51	55	38	5	49	50	43	10	34	27
BESYO	38	35	25	40	44	15	53	31	30	33	34	25	4	45	6
MYO	30	55	8	4	29	42	51	20	35	21	52	25	19	6	56
KTP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Öİ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KMR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Tablo 4. Sözleşmeli Erkek Güvenlik Görevlilerinin Sabah Vardiyası İçin Aylık Çalışma Çizelgesi

V	Sabah Vardiyası														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NY/G	47,56,72	47,5,76	14,65,79	27,68,72	22,27,78	69,78,79	71,75,78	34,56,71	16,39,65	33,39,68	45,72,78	9,36,51	30,41,66	30,52,61	41,63,80
BK	35,53	68,7	74,78	35,67	70,81	5,75	15,4	5,11	43,68	7,42	37,7	2,2	10,46	69,71	20,69
CK	69,81	60,81	54,7	60,78	43,68	63,7	22,65	54,76	45,6	18,37	47,53	29,45	17,26	24,63	17,54
TF	6,11,54,65	10,34,38,54	13,48,60,68	19,34,43,79	10,12,42,75	10,29,58,66	7,44,58,64	13,39,61,65	47,53,61,71	5,48,56,60	5,41,44,48	21,26,30,53	22,36,49,63	28,41,55,81	9,46,55,81
DHF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GSF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VF	32,5	2,14	32,58	42,65	29,6	30,36	5,61	24,64	4,44	45,71	9,56	15,72	21,29	31,34	36,47
HF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİBF	13,67	11,59	34,73	12,73	14,32	24,39	30,63	16,53	7,7	9,78	17,61	22,25	15,28	54,65	21,61
İİF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BESYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KTP	9,17,73	13,56,65	6,67,81	48,70,81	4,72,79	22,31,60	3,55,79	1,7,15	1,9,37	20,44,70	26,28,77	10,28,33	6,25,52	17,21,36	1,31,76
Öİ	19	3	50	62	73	12	49	49	5	61	22	6	39	46	40
RA	10	9	26	32	36	49	24	40	15	64	39	41	69	2	24
RB	58	58	3	4	58	15	43	9,56	-	15	20	37	2	59	13
KMR	8,15,34	6,32,37	18,42,59	3,14,22	3,15,51	3,43,44	39,54,60	43,44,47	8,34,64	26,47,53	19,33,71	17,46,61	24,31,33	6,25,40	6,56,59

Tablo 4. (devamı) Sözleşmeli Erkek Güvenlik Görevlilerinin Sabah Vardiyası İçin Aylık Çalışma Çizelgesi

V	Sabah Vardiyası														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
AK	20,40,46	31,45,47	75,77,80	28,29,75	23,52,66	23,74,81	56,73,74	35,69,80	14,42,59	27,38,78	23,26,80	58,74,77	59,62,65	45,51,77	20,51,77
BK	30,47	19,33	35,79	10,17	35,75	5,75	4,8	53,71	72,79	48,72	58,62	27,36	31,51	63,73	64,65
CK	6,76	20,8	33,45	25,46	2,29	21,29	11,75	30,68	52,78	62,77	10,11	16,26	49,67	50,76	23,38
TF	31,56,57,80	26,67,70,75	2,12,21,62	23,42,43,45	33,46,62,69	28,55,64,67	13,54,64,67	11,25,38,55	18,29,48,55	10,42,52,53	14,15,50,52	38,49,57,62	16,27,61,66	16,27,49,74	8,27,37,74
DHF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GSF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VF	13,24	37,72	17,42	12,21	5,73	7,54	29,59	23,76	26,3	19,58	48,51	51,63	40,48	48,64	3,66
HF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİBF	19,45	42,79	18,41	18,73	18,74	12,44	25,76	57,64	53,68	22,55	25,53	23,34	23,69	47,66	63,76
İİF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BESYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KTP	14,54,70	6,13,73	19,43,72	27,57,62	12,17,49	35,59,71	55,69,71	3,54,67	4,19,80	39,57,80	36,57,77	7,11,50	36,38,64	40,62,80	50,52,62
Öİ	21	18	27	33	28	33	66	14	11	2	27	31	63	65	4
RA	55	1	57	41	44	25	53	4	38	11	46	1	55	23	16
RB	8	24	22	35	25	52	23	19	8	26	38	66	1	20	1
KMR	1,9,37	8,12,57	8,28,73	2,32,51	7,21,41	16,66,69	16,21,35	8,29,59	28,57,71	14,18,28	7,32,63	32,48,69	50,74,77	1,4,36	40,45,47

**Tablo 5.** Sözleşmeli Erkek Güvenlik Görevlilerinin Akşam Vardiyası İçin Aylık Çalışma Çizelgesi

V	Akşam Vardiyası														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
AK	22,64,80	39,53,80	11,45,76	39,59,74	28,54,77	35,53,73	51,70,73	73,80,81	21,59,80	34,49,79	32,42,58	27,68,71	76,77,79	33,37,39	22,25,50,72
BK	36,71	28,45	25,56	45,54	6,35	45,62	35,81	41,63	14,81	23,76	43,79	16,67	67,74	64,77	71,74
CK	18,27	64,72	8,37	41,5	18,23	51,77	6,48	35,48	24,62	13,8	8,64	57,77	44,78	43,72	15,65
TF	29,44,52,63	5,25,29,52	20,31,38,46	5,47,56,77	11,26,45,48	8,38,41,42	31,32,41,52	22,51,62,75	6,40,57,76	12,16,59,81	40,59,62,76	14,23,40,79	13,23,43,48	22,23,50,66	4,48,51,67
DHF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GSF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VF	1,61	27,44	9,53	17,53	17,5	23,46	45,72	6,21	30,41	24,25	13,81	42,48	42,62	68,79	33,49
HF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİBF	66,75	15,31	2,36	25,66	7,37	21,73	21,42	32,58	8,54	3,3	57,68	64,78	37,72	32,48	52,53
İİF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BESYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KTP	20,31,46	19,46,66	15,29,66	8,9,18	19,41,53	2,26,37	19,69,77	19,25,52	35,38,51	32,55,67	12,14,67	13,43,81	16,27,50	26,27,67	27,32,77
Öİ	25	36	39	37	62	6	62	69	32	8	18	76	45	49	43
RA	7	1	7	38	8	48	10	55	49	40	55	12	12	12	16
RB	39	69	5	11	47	28	29	23	25	14	16	4	68	15	11
KMR	5,16,28	7,63,75	10,47,63	7,13,26	2,21,38	19,27,72	23,37,73	30,78,79	3,23,55	4,6,57	4,27,34	8,18,62	9,14,51	29,51,74	34,39,66

Tablo 5. (devamı) Sözleşmeli Erkek Güvenlik Görevlilerinin Akşam Vardiyası İçin Aylık Çalışma Çizelgesi

V	Akşam Vardiyası														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
AK	15, 17, 69	38, 56, 71	55, 58, 78	3, 40, 79	22, 32, 70, 80	43, 50, 63	22, 34, 36, 63	56, 63, 74	5, 17, 64	20, 61, 68	18, 75, 78	68, 72, 75	10, 72, 81	26, 31, 70	58, 69, 73
BK	3, 81	4, 78	40, 56	4, 8	43, 51	42, 58	47, 52	32, 65	33, 56	59, 67	72, 73	44, 56	24, 75	29, 71	28, 44
CK	34, 65	69, 76	4, 66	36, 47	60, 63	24, 60, 77	49, 65	9, 44	54, 65	41, 54	29, 55	18, 29	33, 58	13, 69	7, 68
TF	36, 41, 50, 60	16, 39, 40, 59	14, 26, 54, 59	11, 54, 56, 58	1, 15, 36, 45	1, 32, 51, 57	2, 9, 20, 41	36, 37, 43, 47	20, 44, 61, 73	12, 44, 64, 65	6, 59, 64, 68	5, 10, 46, 52	5, 29, 52, 78	10, 35, 55, 81	49, 57, 60, 81
DHF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GSF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VF	4, 59	30, 65	47, 7	20, 26	13, 42	34, 7	17, 51	5, 66	69, 74	30, 56	22, 61	6, 33	57, 7	2, 24	13, 14
HF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİBF	11, 38	9, 6	3, 2	8, 15	24, 79	10, 36	1, 24	17, 6	1, 75	3, 73	28, 35	28, 3	26, 71	46, 67	53, 61
İİF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BESYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KTP	16, 52, 66	11, 14, 55	13, 30, 76	60, 70, 77	31, 57, 77	18, 41, 65	32, 33, 42	21, 24, 49	7, 12, 47	1, 9, 74	12, 21, 56	12, 24, 80	22, 35, 46	5, 7, 34	30, 67, 71
Öİ	49	34	16	55	4	61	61	10	24	17	33	35	7	58	31
RA	27	15	31	76	11	2	7	1	60	75	2	19	2	53	46
RB	51	54	38	19	8	49	10	20	9	33	9	22	28	11	22
KMR	39, 43, 71	3, 50, 66	11, 24, 60	13, 50, 16	10, 50, 58	15, 40, 60	5, 43, 44	7, 61, 73	3, 63, 67	21, 35, 60	19, 30, 39	2, 17, 78	6, 34, 44	22, 44, 61	2, 5, 70

Tablo 6. Sözleşmeli Erkek Güvenlik Görevlilerinin Gece Vardiyası İçin Aylık Çalışma Çizelgesi

V	Gece Vardiyası														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NY/G															
AK	23,77	62,71	16,51	33,49	52,8	13,17	46,57	28,74	46,69	2,75	74,75	56,58	58,73	42,78	62,79
BK	12,74	61,77	61,75	61,71	20,64	67,76	8,17	31,46	52,74	1,69	66,69	55,75	70,8	62,7	22,44
CK	26,78	40,57	28,69	31,8	56,61	56,8	66,67	18,72	58,72	52,54	73,8	32,59	8,18	35,38	26,78
TF	4,48,62	16,21,41	33,52,55	44,57,63	9,25,67	34,47,57	36,5,68	17,26,27	2,66,77	46,51,66	49,60,65	1,65,70	3,47,60	3,18,60	10,23,42
DHF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GSF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VF	51,79	4,55	21,71	46,69	34,76	1,18	12,33	50,77	27,5	36,63	11,52	54,73	5,38	8,45	12,18
HF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİBF	24,43	17,51	44,8	24,3	40,65	4,2	26,27	12,29	22,31	11,29	3,7	34,6	35,75	57,73	58,64
İİF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BESYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KTP	30,33	22,23	1,4	55,76	57,71	59,68	4,18	33,42	28,36	50,73	38,54	35,8	1,4	44,58	28,75
Öİ	49	35	64	20	16	14	20	10	19	38	31	11	57	75	7
RA	41	30	57	52	33	33	59	67	10	10	50	7	11	10	35
RB	55	12	30	40	1	9	38	66	11	31	24	19	20	19	29
KMR	21,40,42	24,43,49	23,24,49	1,16,64	13,55,59	11,16,25	2,14,28	2,20,36	17,29,63	21,65,74	1,35,63	3,38,47	19,53,56	5,7,14	2,5,73

**Tablo 6. (devamı)** Sözleşmeli Erkek Güvenlik Görevlilerinin Gece Vardiyası İçin Aylık Çalışma Çizelgesi

V	Gece Vardiyası														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
NY/G															
AK	53, 58	64, 74	53, 63	30, 72	26, 3	72, 79	78, 81	13, 51	70, 81	43, 71	65, 81	21, 73	18, 68	56, 79	15, 56
BK	44, 74	51, 61	1, 69	65, 81	72	27, 68	22, 62	5, 39	23, 76	4, 7	60, 76	53, 76	39, 41	19, 59	19, 72
CK	29, 63	29, 63	49, 74	48, 67	39, 76	39, 78	46, 79	50, 77	16, 51	16, 79	4, 79	37, 6	30, 32	25, 33	34, 39
TF	2, 25, 61	44, 46, 52	7, 61, 64	37, 39, 59	9, 37, 53	3, 22, 45	26, 40, 58	34, 70, 81	13, 32, 36	8, 37, 81	3, 40, 42	4, 39, 43	3, 12, 37	32, 42, 78	17, 24, 36
DHF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GSF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VF	35, 77	5, 81	34, 81	53, 71	56, 78	14, 38	39, 72	22, 62	25, 34	69, 76	41, 45	41, 79	25, 6	43, 75	9, 29
HF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İBF	22, 64	53, 68	52, 65	9, 22	27, 68	31, 37	15, 5	27, 31	45, 49	5, 31	13, 54	3, 14	9, 79	6, 18	25, 35
İİF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BESYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KTP	32, 68	36, 49	5, 67	6, 38	3, 14	8, 48	28, 77	1, 45	15, 37	47, 66	20, 67	20, 25	14, 43	9, 17	32, 59
Öİ	62	25	44	61	48	62	31	41	41, 5	24	43	42	8	41	10
RA	5	10	9	64	19	26	12	16	6	45	70	8	42	15	55
RB	23	23	48	78	47	30	18	15	31	13	71	45	15	12	54
KMR	7, 10, 28	7, 32, 48	37, 68, 71	14, 34, 68	6, 20, 38	6, 19, 46	6, 27, 48	40, 46, 58	40, 46, 66	34, 40, 49	8, 37, 47	13, 15, 47	17, 21, 54	21, 39, 54	6, 11, 21



**Tablo 7.** Sözleşmeli Kadın Güvenlik Görevlilerinin Aylık Çalışma Çizelgesi

V	Sabah Vardiyası																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
NY/G	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
AK	9	7	8	5	5	9	9	6	9	2	5	9	9	9	3	5	6	7	4	2	9	2	9	3	3	3	9	2	1	8
BK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CK	8	6	6	1	9	4	8	8	1	1	3	8	8	8	8	4	8	1	8	8	8	2	8	2	1	3	8	3	2	
TF	1,3,7	2,4,5	1,2,3	3,4,7	3,6,8	1,6,7	2,6,7	1,3,7	2,3,8	6,7,9	1,6,7	5,6,7	1,6,7	1,2,7	5,6,7	2,3,6	3,7,9	5,6,9	7,8,9	3,6,7	5,6,7	1,3,5	5,6,7	5,6,7	5,6,7	2,6,7	1,6,7	5,6,7	2,5,9	3,4,7
DHF	6	1	5	8	2	5	4	5	4	8	4	2	4	3	4	9	2	3	2	4	2	4	4	4	1	9	2	9	4	1
MF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GSF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİBF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İİF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BESYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MYO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KTP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Öİ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RA	5	8	7	2	1	2	3	4	5	5	9	4	3	4	2	1	5	1	5	1	4	9	3	1	9	4	4	4	8	9
RB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KMR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tablo 8.** Güvenlik Görevlilerinin Toplam Atandıkları Vardiya Sayıları

Görevli Tipi	Kadrolu Güvenlik Görevlileri																			
	Görevli No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Toplam Vardiya	21	21	21	22	22	22	21	21	22	22	22	22	22	22	22	21	22	22	21	21
Görevli No	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Toplam Vardiya	21	21	21	21	22	21	21	22	22	21	21	21	22	21	22	22	21	21	21	22
Görevli No	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Toplam Vardiya	22	22	21	21	22	22	21	22	22	21	22	21	21	22	21	21	22	22	21	21

Görevli Tipi	Sözleşmeli Erkek Güvenlik Görevlileri																				
	Görevli No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Toplam Vardiya	26	25	25	25	26	26	26	25	26	26	26	25	26	25	26	26	25	25	25	25	
Görevli No	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Toplam Vardiya	26	26	26	26	26	25	26	25	26	25	26	26	25	26	26	26	25	25	26	26	
Görevli No	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
Toplam Vardiya	25	25	25	26	25	26	26	25	26	26	26	25	26	26	26	26	25	26	25	25	
Görevli No	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
Toplam Vardiya	26	26	26	26	26	26	25	25	26	25	26	25	25	25	25	25	26	25	25	25	26

Görevli Tipi	Sözleşmeli Kadın Güvenlik Görevlileri								
	Görevli No	1	2	3	4	5	6	7	8
Toplam Vardiya	23	24	23	23	23	23	25	23	23

## 6. SONUÇ

Yapılan çalışmada Kırıkkale Üniversitesi'nde çalışan kadrolu ve sözleşmeli güvenlik görevlilerinin aylık çalıştıkları bölümlerin dengeli ve istenilene uygun bir şekilde düzenlenmesi sağlanmıştır. Kişi, gün, vardiya ve bölüm sayılarının özellikle de kişi sayılarının bu kadar fazla olması sebebiyle böyle bir çizelgeyi oluşturmak hem zaman anlamında hem de kaliteli bir çizelge oluşturmak anlamında çok zordur. Bundan dolayı matematiksel modeller ile kısa bir süre içerisinde en iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Sözleşmeli erkek, sözleşmeli kadın ve kadrolu güvenlik görevlilerinin farklı iş koşulları değerlendirilerek oluşturulan matematiksel modelde kullanılmıştır. Böylece parametreleri çok fazla olan matematiksel modele ek olarak farklı kısıtlarla birlikte optimal bir sonuç elde edilebileceği görülmüştür. Yapılan bu iyileştirmeler ile birlikte güvenlik görevlilerinin verimliliğinin artması ve daha sistemli bir şekilde çalışması amaçlanmıştır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda farklı personeller dikkate alınarak çalışma çizelgeleri oluşturulabilir. Daha büyük bir çözüm uzayının olduğu çalışmalar yapılmak istenirse matematiksel modellemeler yerine sezgisel algoritmalar kullanılarak çalışılabilir. Aksine daha küçük bir model oluşturularak personellerin ücretleri, mesai saatleri, kişisel izin günleri, yıllık izinleri ve buna benzer kriterler düşünülerek daha somut sonuçlar elde edilebilir.

## 7. KAYNAKÇA

- Aykin, T., "Optimal Shift Scheduling with Multiple Break Windows", *Management Science*, 42 (4) 591-602, 1996.
- Azaiez, M.N., Al Sharif, S.S., "A 0-1 goal programming model for nurse scheduling", *Computers & Operations Research*, 32 (3), 491-507, 2005.
- Bağ, N., Özdemir N., M., Eren, T., "0-1 Hedef Programlama ve ANP Yöntemi ile Hemşire Çizelgeleme Problemi Çözümü", *International Journal of Engineering Research and Development* 4, 2-6, 2012.
- Bard, J., Binici, C., Desilva, A., "Staff Scheduling at the United States Postal Service," *Computers and Operations Research*, 30, 745-771, 2003.
- Bozbura, T.F., Beskese, A., Özgün, Ç., "Modeling the Tour Planning of the Employees on the Critical Tasks by Genetic Algorithm," 12th International Research/Expert Conference, "Trades in the Development of Machinery and Associated Technology," 26-30, 381-384, 2008.
- Brunner, J., Bard, O.J.F., Kolisch R., "Flexible Shift Scheduling of Physicians," *Health Care Management Science*, 12, 285-305, 2009.
- Brunner, J.O., Edenharter, G.M., "Long term staff scheduling of physicians with different experience levels in hospitals using column generation," *Health Care Management Science*, 14, 189-202, 2011.
- Burke, E., Li, J., Qu, R., "A hybrid model of integer programming and variable neighbourhood search for highly-constraint nurse rostering problems," *European Journal of Operational Research*, 203 (2), 484- 493, 2010.
- Charnes A., Cooper W.W., "Management models and industrial applications of linear programming", Wiley, New York, 1965-66, 1, and 1967, 2, 1961.
- Charnes A., Cooper W.W., Ferguson R., "Optimal estimation of executive compensation by linear programming," *Management Science*, 1, 138-151, 1955.
- Dantzig, B.G., "Letter to the Editor—A Comment on Edie's 'Traffic Delays at Toll Booths'", *Operations Research*, 2, 339-341, 1954.
- Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Owens, B., Sier, D., "An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering", *Annals of Operations Research*, 127, 21-144. 2004.
- Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Sier, D., "Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods, and models", *European Journal of Operations Research*, 153, 3-27, 2004.
- Firat M., Hurkens, C.A.J., "An improved MIP-based approach for a multi-skill workforce scheduling problem," *Journal of Scheduling*, 15, 363-380, 2011.
- Glass, C.A., Knight, R. A., "The nurse rostering problem: A critical appraisal of the problem structure," *European Journal of Operational Research*, 202, 379-389, 2010.
- Günther, M., Nissen, V., "Sub-daily staff scheduling for a logistics service provider," *Künstl Intell*, 24, 105-113, 2010.
- Horn, M., Jiang, H., Kilby, P., "Scheduling patrol boats and crews for the Royal Australian Navy", *Journal of the Operational Research Society*, 58, 1284-1293, 2007.
- Ignizio, J., "Introduction to Goal Programming" Sage Publications Inc., Beverley Hills, California, 1985.
- Karaatlı, M., Güngör, İ., "Hemşire çizelgeleme sorununa bir çözüm önerisi ve bir uygulama", *Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 2 (1), 22-52, 2010.
- Keith E.G., "Operator Scheduling", *AIIE Transactions*, 37-41, 1979.
- Labidi, M., Mrad, M., Gharbi, A., Louly, M., A., "Scheduling IT Staff at a Bank: A Mathematical Programming Approach", *The Scientific World Journal*, 2014.

- Li, J., Burke, E.K., Curtois, T., Petrovic, S., Qu, R., "The falling tide algorithm: a new multi-objective approach for complex workforce scheduling", *Omega*, 40, 283–293, 2012.
- Moz, M., Pato, M.V., Solving the problem of rostering nurse schedules with hard constraints: New multicommodity flow models. *Annals of Operations Research*, 128, 179-197, 2004.
- Ozkarahan, I., Bailey, J.E., "Goal programming model subsystem of a flexible nurse scheduling support system", *IEEE Transactions*, 16, 306–316, 1988.
- Özcan, E.C Varlı, E., Eren, T., "Hedef Programlama Yaklaşımı ile Hidroelektrik Santrallarda Vardiya Personeli Çizelgeme", *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 2017. (Basımda).
- Öztürkoğlu Y., Çalışkan, F., "Hemşire Çizelgemesinde Esnek Vardiya Planlaması ve Hastane Uygulaması," *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16, 115-133, 2014.
- Ronnberg, E., Larsson, T., "Automating the self-scheduling process of nurses in Swedish healthcare: a pilot study," *Health Care Management Science*, 13, 35-53, 2010.
- Seçkiner, S., Kurt, M., "Bütünleşik tur-rotasyon çizelgeme yaklaşımı ile iş yükü minimizasyonu," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (2), 161-169, 2005.
- Segal, M., "The operator-scheduling problem: A network flow approach," *Operations Research* 808–823, 1974.
- Sowalter, M., J., Mabert, V., A., "An evaluation of a full/part time tour scheduling methodology.," *International Operation and Production Management*, 54-71, 1988.
- Sungur, B., "Bir güzellik salonunun tur çizelgeme problemi için karma tam sayılı hedef programlama modelinin geliştirilmesi", *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37, 49-64, 2008.
- Şahiner, M., Aktürk, M.S., Ünlüsoy, S., Bedir, N., Varlı, E., Eren, T., "Hemşire Çizelgeme İçin Model Önerisi: Örnek Uygulama", *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (Basımda), 2017.
- Thompson, G.M., "Optimal Scheduling of Shifts and Breaks Using Employees Having Limited Time-Availability", *International Journal of Service Industry Management*, 7, (1), 56-73, 1996.
- Todovic, D., Makajic-Nikolic, D., Kostic-Stankovic M., Martic, M., "Police officer scheduling using goal programming", *Policing: An International Journal of Police Strategies and Management*, 38, 295-313, 2015.
- Topaloğlu, S., Özkarahan, I., "An Implicit Goal Programming Model For the Tour Scheduling Problem Considering the Employee Work Preferences," *Annals of Operations Research*, 128: 135-158, 2004.
- Unal, F.M., Eren, T., Hedef programlama ile nöbet çizelgeme probleminin çözümü. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 1, 28-37, 2016.
- Varlı, E., Eren T., Gençer M. A., Çetin S., "Ankara Metrosu M1 Hattındaki Vatmanların Vardiya Saatlerinin Çizelgelenmesi". 3. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu-Karabük, 2016a.
- Varlı, E., Eren, T., "Hemşire Çizelgeme Problemi ve Bir Hastanede Uygulama.", *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5, 1, 34-40, 2017a.
- Varlı, E., Eren, T., "Vardiya Çizelgeme Problemi ve Bir Örnek Uygulama, *International Journal Of Informatics Technologies*", 10, 2, 185-197, 2017b .
- Varlı, E., Gençer, M.A., Eren, T., "Ankara: Metro Hatları Vardiya Saatlerinin Çizelgelenmesi", 9. Uluslararası İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, 2016b.
- Wright, P.D., Bretthauer, K.M., "Strategies for Addressing the Nursing Shortage: Coordinated Decision Making and Workforce Flexibility," *Decision Sciences*, 41, 373-401, 2010.
- Yağcıoğlu, Ş., Çetin, H., Güngör, İ., "Kredi Ve Yurtlar Kurumu Yöneticileri İçin Vardiya Planlamasında Bir Model Önerisi", *CBÜ Sosyal bilimler dergisi*, 13(2), 4-22, 2016.
- Yüksel, İ., "Çalışma Yaşamı Kalitesinin Tipik ve A tipik İstihdam Açısından İncelenmesi," *Doğu Üniversitesi Dergisi*, 5 (1), 47-58, 2004.



## Türkiye'deki Depremlerde Alınan ve Alınabilecek Önlemler

### Taken and Need to Take Precautions in Turkey's Earthquakes

Murat BİKÇE\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, İSKENDERUN 31200*

Başvuru/Received: 05/02/2017

Kabul/Accepted: 13/04/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Türkiye nüfusunun %70'den fazlası birinci ve ikinci derece deprem bölgesinde yaşamasından dolayı, bölgenin tektonik özelliklerine uygun tedbirler artarak devam etmelidir. Aksi halde, geçmişte olduğu gibi gelecekteki depremlerde de can ve mal kayıplarının yaşanması olasıdır. Bu çalışmada öncelikle, Türkiye'deki depremlere ait veri kaynakları, literatür ve tarihsel belgeler incelenerek can ve mal kaybının artmasına etki eden temel faktörler sıralanmıştır. Daha sonra, bu depremlerde meydana gelen can kaybı ve hasar sayılarına ait veriler değerlendirilerek can ve mal kayıplarının azaltılması için alınan ve alınması gereken tedbirler sıralanmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Türkiye'deki Depremler, Hasar Nedenleri, Tedbirler”

#### Abstract

Due to the fact that more than 70% of Turkey's population lives in first and second degree earthquake zones, ideal radical measures should be continued in accordance with the tectonic characteristics of the region. Otherwise, as in the past, it is inevitable that there will be loss of life and property in possible earthquakes in the future. In this study, firstly, the list of the earthquakes in Turkey obtained from all data sources, literature and all the historical documents reached are examined and the main factors affecting increase of life and property loss are listed. Later, the data on the number of deaths and injuries in these earthquakes were evaluated and the measures taken to reduce the loss of lives and property of the previous earthquakes to Turkey were listed.

#### Key Words

“Earthquakes in Turkey, Causes of Damage, Precautions”

## 1. GİRİŞ

Türkiye, dünyanın en önemli deprem kuşaklarından olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunmaktadır. Türkiye'nin üzerinde bulunduğu Anadolu Plakası; kuzeyde Avrasya Plakası, güneyde Afrika ve Arap Plakası, doğuda Doğu Anadolu Bloğu ve batıda Ege Bloğu tarafından çevrilmiştir. Bu tektonik konumu nedeniyle Türkiye topraklarının çok büyük kısmı deprem riski altındadır. Türkiye'de büyüklüğü 5.5 ve üzeri deprem üretebilecek diri fay veya fay segment sayısının 485 olduğu belirtilmektedir (Duman, 2015). Bu aktif faylardan Kuzey Anadolu Fayı-KAF (1350 km), Doğu Anadolu Fayı-DAF (580 km) tek başına yıkıcı deprem üretebilecek alt parçalardan oluşan büyük fay sistemlerine sahiptir. Tarihsel depremlere bakıldığında; bu durumu teyit eden KAF, DAF ve Ege bölgesindeki yerel faylarda, can ve mal kayıplarının yaşandığı sayısız önemli depremlerin tekrarlandığı görülmektedir (Afet, 2016). Türkiye 1996 yılı deprem bölgeleme haritasına göre beş deprem bölgesine ayrılmıştır (Deprem, 2016a). Türkiye yüzölçümünün %66'sı, 2014 sonunda 77.695.904 kişiye ulaşan nüfusun %71'i, sanayi tesisi ve kuvvet santrallerinin %75'i 1 ve 2. derece deprem bölgesinde yer almaktadır (tablo 1) (Özmen ve ark., 1997, Tuik, 2015, Pusch, 2004). Burada a; depremin ivmesini göstermektedir. Tablo 1'de görüldüğü gibi; Türkiye nüfusunun yalnızca %2 kadarı deprem riskinin çok düşük olduğu 5. derece deprem bölgesinde yaşamaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu 2011 (yayın tarihi 31 Ocak 2013) verilerine göre; nüfusun; %20'si tek katlı binalarda, %25,5'i 4-5 katlı binalarda, %23,1'i de 6 ve daha üzeri katlardaki binalarda yaşamaktadır (Tuik, 2015). On ve daha az yaşta binalarda yaşayan nüfus oranı ise %21,8'dir (Tuik, 2015).

**Tablo 1:** 1996 Deprem bölge haritasına göre çeşitli yüzdeler.

Deprem Bölgeleri	İvme	Yüzölçümü %	Nüfus %	Kuvvet Santrali %
I.	$0.40g \leq a$	42	45	52
II.	$0.30g \leq a < 0.40g$	24	26	23
III.	$0.20g \leq a < 0.30g$	18	15	12
IV.	$0.10g \leq a < 0.20g$	12	13	11
V.	$a < 0.10g$	4	2	2

Türkiye'de meydana gelmiş tarihsel depremlerle ilgili katalog çalışmaları birçok araştırmacı tarafından yürütülmüş olmasına rağmen, can kaybı ve hasarlı bina sayılarını sunan sınırlı sayıda veri kaynağındaki bilgilerin oldukça farklı değerler içerdiği görülmektedir. Bıkçe (2016), can kaybı ve hasarlı bina sayılarını sunan tüm veriler, literatür, kataloglar ve ulaşılan tüm tarihsel kaynaklar bir arada değerlendirilerek, 1900-2014 yılları arasında can ve mal kayıplarına neden olarak Türkiye'yi etkileyen depremlere ait; tarihi, ilçe ve il koordinatları, büyüklüğü, şiddeti, derinliği, can kaybı ve hasarlı bina sayılarında tek bir veri değeri olacak şekilde düzenlenerek, güncel bir deprem listesi oluşturulmuştur.

Türkiye gibi depremden dolayı derinden etkilenen ülkelerde, geçmişte meydana gelmiş büyük doğal afetlerle ilgili bilgilere ulaşılarak yaşananlardan ders almak, bundan sonra meydana gelebilecek zarar ve can kayıplarını en aza indirmek bakımından oldukça önemlidir. Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı 2012-23'de "Deprem Bilgi Bankasının oluşturulması ve geliştirilmesine büyük ihtiyaç olduğu" belirtilmektedir (Deprem, 2016b). Bu çalışmada, ileriye dönük çalışmalarda ve planlamalarda kullanılmak üzere Türkiye'de meydana gelmiş, hasara ve can kaybına neden olan depremlere ait veriler değerlendirilerek geçmiş depremlerdeki; can mal kaybını arttıran faktörler, can ve mal kayıplarının azaltılması için alınan ve alınabilecek tedbirler sıralanmıştır.

## 2. DEPREMLERİN İNCELENMESİ

1900-2014 yılları arasında Türkiye'de can ve mal kaybına neden olan en fazla deprem sayısının 5.5 - 5.9 magnitüd aralığında meydana geldiği, en çok can kaybı ve bina hasarına neden olan deprem büyüklüğünün sırasıyla 7.5 - 7.9 ve 7.0 - 7.4 aralığında olduğu, can ve mal kaybına neden olan depremlerin en fazla 4 yılda bir meydana geldiği, Türkiye'deki 81 ilin 55'inde (%68) can kaybı ve/veya hasarın meydana geldiği, can kaybı ve hasarlı bina sayısı bakımından sayısal olarak en çok kayıp veren ilk beş bölge, büyükten küçüğe doğru; Doğu Anadolu, Marmara, Karadeniz, Ege, Akdeniz bölgeleri olarak sıralandığı belirlenmiştir (Bıkçe, 2016).



## 2.1. Can ve Mal Kaybının Artmasına Etki Eden Temel Faktörler

Bir deprem sonrası oluşan can kaybı ve hasarın büyüklüğü; depremin büyüklüğüne, depremin yerleşim alanlarına uzaklığına, zemine, yapı kalitesine, ulusal gelir düzeyine, hızlı nüfus ve göçe bağlı kontrolsüz büyüme, eğitim eksikliği ve toplumun deprem zararlarını azaltmaya yönelik yapmış oldukları hazırlığa göre farklılık gösterir. Deprem sonrası oluşan yapısal kayıplarının giderilmesi ve iyileştirilmesi de buna bağlı olarak çok uzun sürebilir. Türkiye’yi etkileyen depremlerde can ve mal kaybının artmasına neden olan bazı temel faktörler aşağıda sıralanmıştır;

**Türkiye’nin Sismik Talihsizliği:** Türkiye’de son 60 yılda doğal afetlerden dolayı oluşan hasarlardan %61’i depremlerden dolayı oluşmaktadır (Kocaman, 2012). Ayrıca, sanayi tesisleri, petrol türevi ve kimyevi madde üretimi ve depolanması gibi tesisler, alt yapı tesisleri ve ulaşım hatlarının yer aldığı bölgelerin deprem açısından risk taşıyan fay hatları üzerinde bulunması tehlikenin boyutlarını artırmaktadır. Türkiye’deki 81 ilin 55’inde (%68) can kaybı ve/veya hasarın meydana geldiği görülmektedir (Bikçe, 2016). Bu dağılıma göre incelenen tarihler aralığında meydana gelen depremlerde Türkiye’deki illerin 2/3’sinin zarar gördüğü anlaşılmaktadır.

**Büyükşehirlerde Kontrolsüz ve Hızlı Büyüme:** Türkiye’de 1950’lerden sonra sanayileşmeye bağlı olarak kırdan kente doğru bir iç göç başlamış, aşırı göç alan kentlerde yaşanan kontrolsüz ve hızlı büyümeyle ilgili olarak depreme karşı dayanıksız yapıların ve kentlerin oluşmasına neden olmuştur. İl ve ilçe merkezlerinde ikamet edenlerin oranı 2016 yılında %92.3, belde ve köylerde yaşayanların oranı %7.7 olarak gerçekleştirilmiştir (Tuik, 2016).

**Toplumdaki Deprem Bilinci:** Halkın depreme karşı hazırlık ve duyarlılık konusunda yeteri kadar bilinçlenmemiş olması kayıpları arttırmaktadır. Barem araştırma şirketinin (2011) 1999 Kocaeli depreminden on iki yıl sonra yaptığı araştırmaya göre; temsili olarak görüşülen 1021 kişinin; her on kişiden yedisinin deprem için özel bir hazırlık yapmadığını, % 52’sinin oturduğu evin depreme dayanıklı olduğunu düşündüğünü, % 71’inin depremden korunmak için hiç bir şey yapmadığını ifade etmiştir. Anket yapılanlar arasında; %12’sinin Doğal Afet Sigortası (DASK) yaptıklarını, %10’unun yapılarını güçlendirdiklerini, %8’inin evdeki eşyalarını sabitlediklerini, %5’inin de deprem çantası hazırladıkları belirtilmektedir. 44 ildeki 3 bin 267 hanede yapılan benzer bir araştırmada ise; %70’i depreme yönelik hiçbir hazırlığın olmadığını, %80’i ev satın alırken veya kiralarla depreme dayanıklılığına bakmadığını belirtmektedir (Milliyet, 2011). İnsanların ne yapacağını bilememesi nedeniyle meydana gelen orta ve büyük depremler sırasında panikle balkondan atlayarak yaralandığı veya hayatını kaybettiği haberleriyle karşılaşılmaktadır (Milliyet, 2015).

**Planlandığı Deprem Standardının Sağlanmaması:** 1997 Türk deprem yönetmeliğinde öncekilere göre, yapıdaki donatı miktarlarında çok ciddi bir artış meydana gelmiştir (ABYYHY, 1997). 1997 yılı öncesinde yapılan binaların büyük bir çoğunluğu bu açıdan değerlendirildiğinde, deprem risklerinin yüksek olduğu belirtilmektedir (Özal, 2012). Ancak, yapıldığı dönemdeki 1997 öncesi deprem standardını sağlayan binaların depremler sonrasında ayakta kaldığı da gözlenmektedir.

**Denetim Sorunu:** Kaliteli bir yapının elde edilmesi; o yapının planlaması, tasarımı, yapımı ve kullanımı aşamalarının da uyumlu ve nitelikli olması, ayrıca, bu süreçlerin etkin bir denetimiyle sağlanabilir. Türkiye genelinde 2001 yılına kadar, yeni yapılan binaların denetimi mimari, statik, tesisat ve elektrik için dört ayrı uzmandan oluşan dördü TUS (Teknik Uygulama Sorumlusu) denilen sistem ile yürütülmekteydi. Denetlenen denetleyeni seçerek ücretini vermesi, denetimin devlet eliyle yapılmaması, TUS’daki kişilerin görevlerini yerine getirmemesi gibi nedenlerle 2001 yılına kadar çok sayıda yapı kaçak veya denetimsiz olarak imal edilmiştir. 31.07.2001 tarihinde 4708 sayılı Yapı Denetim Kanunu 19 ilde, 01.01.2011 de ise tüm Türkiye’de yürürlüğe girmiştir. Dolayısıyla, 35’i “1. derece deprem bölgesi” içinde olmak üzere diğer 62 ilde, 2011 yılına kadar inşa edilen binaların tam olarak nitelikli bir denetimden geçip/geçmedikleri hususunda bir şey söylenemez. Ancak, 23.10.2011 ve 09.11.2011 tarihli Van depremlerinde toplam 17030 hasarlı bina içerisinde güncel deprem yönetmeliğine (DBYBHY, 2007) göre tasarlanmış ağır hasar almış binalar bulunmaktadır (Bikçe ve Çelik, 2016). İşverenin, kendini denetleyecek şirketi seçmesi ve ücretini ödemesinden dolayı, denetleme ile ilgili sorunların yaşanmasına neden olmaktadır.

**Zemin Etüdüne Gereken Özenin Gösterilmemiş Olması:** Depremde hasar gören pek çok hasar alan yapıda; zemine göre bina yapmak yerine binaya göre zemin etüdünün hazırlandığı görülmektedir. Bu durum, can ve mal kayıplarının artmasında oldukça etkili olmuştur. Zemin özelliklerinin depreme dayanıklı yapı yapma konusunda etkisinin önemsizlenmesi nedeniyle, 1999 Kocaeli depremine kadar “zemin etüdünün” ruhsat dosyasına konulması gereken sadece bir evrak olarak görülmüştür. 13.07.1944 tarihinde çıkarılan, 4623 sayılı "Yer Sarsıntılarında Evvel ve Sonra Alınacak Tedbirler hakkında Kanun" ile imar planına esas jeolojik etüt çalışmaları yapılmaya başlanmış olsa da, 1956 yılındaki 6785 ve 1985 yılındaki 3194 sayılı imar yasalarında jeolojik etütlerden bahsedilmemiştir. Bu konudaki boşluk İller Bankası Genel Müdürlüğü (İBGM) ve Afet İşleri Genel Müdürlüğü (AİGM) ile doldurulmaya çalışılmıştır. Bu kurumlar tarafından “yerleşime uygun olmayan alanlar” Bakanlar Kurulu kararı ile “Afete Maruz Bölge” kararı alınarak yapılaşma dışı bırakılmış olsa da, planlama yetkisini belediyeler alıncı ekonomik ve siyasi koşullar etkilemiştir. 1985 sonrasında, özellikle turizm bölgelerinde hızlı bir yapılaşma başlamıştır. Yapılaşma dışı bırakılan alanların yerleşime açılması üzerine Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (BİB) 17.08.1987 tarih ve 1634 sayılı genelge ile bu alanlarda jeolojik ve jeoteknik etüt raporu hazırlanması ve raporların AİGM veya İBGM’ne onaylanması hükme bağlanmıştır. Ancak, bu genelgelere her yerde aynı titizliğin gösterildiği söylenemez (Csb, 2015). Kocaeli Depreminin sonra çıkartılan genelge ve yönetmelik değişiklikleri ile etüt raporlarının içeriğine yönelik yeni düzenlemeler getirilmiştir.

**Yapı ve Yapı Malzemelerinin İstenilen Düzeyde Üretilmemesi:** En temel yapı malzemesi olan beton ve çeliğin standartların altında üretilmesi ve projesinde öngörülenin dışında uygulanması can ve mal kaybını arttıran önemli nedenlerden biridir. Türkiye’de beton santralleri kurulmadan önce, bazı beton üretimlerinde deniz çakılı ve kumu kullanılması beton kalitesini düşürmüştür (Çağatay, 2005). Mıcır ve kumun beton içinde en az boşluk bırakacak boyut ve miktarda olmaması, eksik çimento miktarı, su/çimento oranı yüksekliği, betonun iyi karıştırılmaması, yerleştirilme ve sıkıştırılmada yetersizlikler, hava koşullarına uygun gerekli önlemlerin alınmaması, betonun prizi sırasında usulüne uygun kür uygulanmaması, erken kalıp alma, donatıların projesinde öngörülenden farklı yerleştirilmesi gibi temel eksiklikler yapıların imalatları esnasında yetersiz malzeme dayanımlarına yol açmıştır.

**Afet Yönetimindeki Eksiklikler:** Deprem zararlarının azaltılması ve önceden hazırlık aşamasındaki planların eksik olması deprem anında ve sonrasında önemli kayıplara neden olmaktadır. Büyük bir deprem sırasında; insanlar, kurumlar ve diğer unsurlar yaşanan olağan dışılık sırasında sağlıklı tepki veremeyeceğinden, afet henüz gerçekleşmeden önce afete müdahalelerinin iyi planlanması gereklidir. Afet yönetimde; zarar azaltma, önceden hazırlık, kurtarma ve ilkyardım, iyileştirme ve yeniden inşaat aşamalarının çok iyi planlanması can ve mal kayıplarının minimize edilmesinde son derece etkilidir (Ergünay, 1999). Kocaeli depreminde afet yönetimi ve arama kurtarma çalışmalarının yetersizlikleri, depremin boyutunun büyüklüğü ve bu çaptaki bir afete hazırlıklı olunmaması, can ve mal kayıplarını arttırmıştır.

**Önceki Depremlerden Ders Çıkarılmaması:** Önceki depremlerde belirlenen yapısal hataların, daha sonra inşa edilen yapılarda yinelenmesi ve mevcut yapılarda gerekli tedbirlerin alınmaması can ve mal kaybının artmasına neden olmaktadır. 1999 Kocaeli depreminden sonra da Türkiye’de can ve mal kaybının olduğu depremler; February 3, 2002, Sultandağı (3 Şubat 2002), Bingöl (1 Mayıs 2003), March 12 and June 6, 2005 Bingöl–Karlıova (12 Mart ve 6 Haziran 2005), Kovancılar and Palu (8 Mart 2010), June 23, 2011 Maden-Elazığ (23 Haziran 2011), Tabanlı-Van (23 Ekim 2011), and Edremit-Van (9 Kasım 2011) depremlerinde meydana gelen yapısal hasarlara bakıldığında, 1999 Kocaeli depremindeki benzer hataların tekrarlandığı görülmektedir.

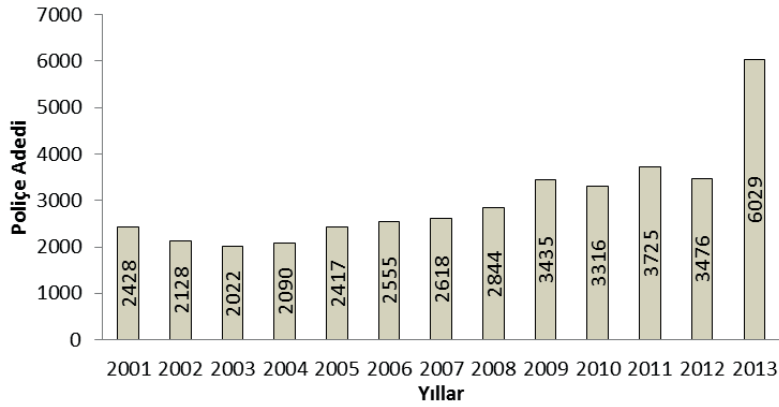
2007 ABYBYH. 1.2.2.’e göre yeni binaların tasarımında esas alınacak tasarım depremi 50 yıllık bir süre için dikkate alınmasına rağmen, pek çok binanın ekonomik ömrü 50 yıldan daha kısa sürede tükenmektedir. Yalıtım konusuna gereken önemin gösterilmemesi de yapıların servis ömrünü kısaltmaktadır. Örneğin, Son yıllarda büyük kısmının yıkılması gerektiği gündemde olan metropollerde binaların ortalama yaşı 24, İstanbul’dakilerin 26.3 yıldır (Birinci, 2013). İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve JICA tarafından yapılan 7.5 ve 7.7 büyüklüğünde iki ayrı deprem senaryosuna göre, ağır hasarlı bina sayısı 51 ve 59 bin, ölü sayısı 73 ve 87 bin ve maddi kayıp 50 milyar ABD Doları olarak tahmin edilmektedir (Demircan, 2012).

## 2.2. Can ve Mal Kayıplarının Azaltılması için Alınan Tedbirler

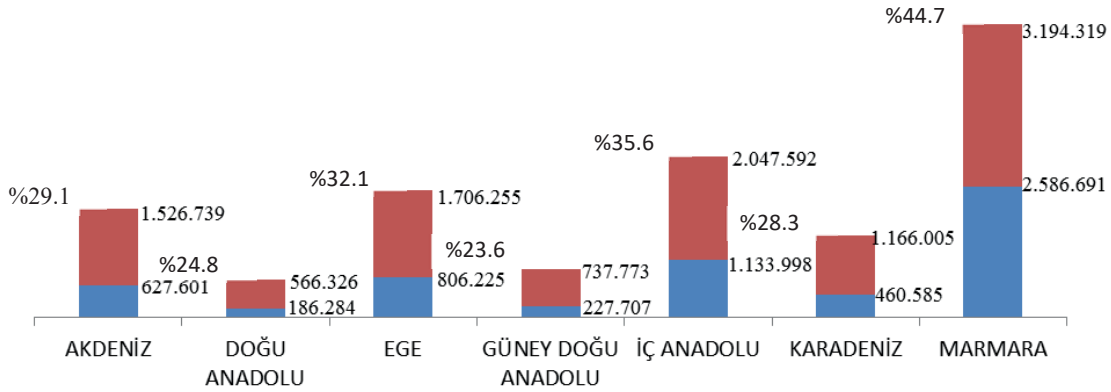
- 29.09-01.10.2004 tarihleri arasında, İstanbul’da “Deprem Şurası” düzenlenmiştir. Deprem Şurası sonuç bildirgesinde önerilen düzenlemelerin acilen yerine getirilmesi gerekenler belirtilmiştir.
- Türkiye’de bir Ulusal Deprem Stratejisi geliştirilmesi gerekliliği ile Başbakanlık Genelgesiyle 2000 yılında oluşturulan Ulusal Deprem Konseyi, 2007 başında feshedilmiştir.
- 06.03.2007 tarihinde “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” adıyla yeni deprem yönetmeliği yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Ayrıca, 2010–2014 arasında yeni revizyon çalışmaları planlanmış olsa da 2016 yılında yeni deprem yönetmeliği taslağı oluşturulmuştur.
- İmar planına, fen, sanat ve sağlık kurallarına, standartlara uygun kaliteli yapı yapılması için projelerin ve yapıların denetimini sağlamak amacıyla 31.07.2001 tarihinde 4708 sayılı Yapı Denetim Kanunu 01.01.2011 tarihi itibarıyla tüm Türkiye’de yürürlüğe girmiştir. Bu kanun ile yapının hem proje hem de uygulama denetimlerinin aynı kuruluş eliyle yürütülmesi sağlanmıştır.
- Türkiye genelinde özellikle Kocaeli depreminden sonra ruhsatsız ve kaçak yapılar yıkılmış, özel ve kamuya ait yapıların depreme dayanıklılığı ile ilgili tespitler yapılmış, yetersiz olarak belirlenen yapılarda güçlendirme çalışmaları yapılmıştır.
- 09.08.2011 tarih ve 28029 sayı ile “Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı-2012-2023” resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. 2010’da sekiz alt çalışma komisyonunun oluşturulması ile başlayan planın amacı, “depremlerin neden olabilecekleri fiziksel, ekonomik, sosyal, çevresel ve politik zarar ve kayıpları önlemek veya etkilerini azaltmak ve depreme dirençli, güvenli, hazırlıklı ve sürdürülebilir yeni yaşam çevreleri oluşturmaktır”. 2023’e varan planlama çerçevesinde ülkenin ihtiyaç duyduğu çeşitli alanların oluşturulması ve geliştirilmesi için görevlendirmeler yapılmıştır. Bu yönde ilk çalışma, MTA tarafından 2012’de Türkiye Diri Fay Haritası yayımlanmıştır (Mta, 2015).
- Çarpık ve sağlıksız şehirlerde kentsel dönüşüm ile yenilenmesi amacıyla, 6306 Sayılı “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun” 04.07.2012 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Eski nesil binaların yönetmelik ekinde verilen esaslara uygun şekilde yenilenmesi hedefiyle yasal altyapıya kavuşturulan ve 20 yılda sonuçlanması öngörülen kentsel dönüşüm çalışmaları dahil her yıl bir milyon mertebesinde ortalama konut üretimine ihtiyaç olacağı söylenebilir. Onuncu Kalkınma Planı’na göre, 2014-2018 yıllarında nüfus artışı, yenileme ve afetten kaynaklanan konut ihtiyacı dahil toplam 4.1 milyon adet olarak öngörülmektedir (Kalkınma, 2015, Sgk, 2013).



- Nüfusun büyük çoğunluğunun önemli deprem bölgelerinde yaşamasına bağlı olarak büyük ölçekli depremlerde ortaya çıkan kayıplar, Türkiye için mali ve sosyal bir konu haline gelmiştir. Ayrıca, endüstri rezervlerinin deprem bakımından tehlikeli yerlerde bulunması nedeniyle özel sigorta sektörü tarafından deprem teminatı sağlanamaz hale gelmesi üzerine, bu konuda potansiyel oluşturmak ve deprem sonrası zararların karşılanması amacıyla 587 sayılı "Zorunlu Deprem Sigortasına Dair Kanun Hükmünde Kararname" 27 Aralık 1999 tarih ve 23919 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. 27.09.2000 tarihinden itibaren deprem sigortası yaptırmak zorunlu hale getirilmiş ve bu amaçla kamu tüzel kişiliğine haiz Doğal Afet Sigortaları Kurumu kurulmuştur (Dask, 2005).
- DASK bünyesinde toplanan sigorta kaynaklarının kullanımı deprem sonrası zararları karşılama şeklinde tanzim edilmiştir (Swiss Re, 2005). 2013 yılsonu itibarıyla Türkiye genelinde DASK'ın sorumluluk alanına giren konutların oranı %35,5'e yükselmiş, Zorunlu Deprem Sigortası poliçe sayısı 6 milyonun üzerine çıkmıştır (şekil 1). Şekil 2'deki Türkiye deprem bölgelerine göre sigortalılık oranları dağılımı; 1. bölge %45.28, 2. bölge %26.46, 3. bölge %11.20, 4. bölge %16.07, 5. bölge %0.99'dur (şekil 2).



Şekil 1. Yıllara göre poliçe adetleri ve sigortalılık oranı (Dask, 2005)



Şekil 2. Bölgeler bazında sigortalılık oranları (Dask, 2005)

- 5302 sayılı İl Özel İdareleri Kanunu, 5216 sayılı Büyükşehir Belediyeleri Kanunu ve 5393 Sayılı Belediyeler Kanunu'nda afet-deprem ve acil durumlar konularında hükümler yer almıştır. Bazı büyükşehirler kendi bölgeleri için afete hazırlık planları yapmıştır. Örneğin; İstanbul Afet ve Acil Durum Planı ile bölgede meydana gelebilecek her türlü afetin öncesinden bitimine kadar geçen sürede afetin en az zararla atlatılması amaçlanmaktadır. Bunun için Deprem master planı hazırlanmış, kentsel dönüşüm ve bina incelemeleri yapılmış, yapı güçlendirme çalışmaları yürütülmüş, Mikro bölgeleme planları oluşturmuş, deprem erken uyarı ve acil müdahale sistemleri geliştirmiştir (İbb, 2015).

### 2.3. Can ve Mal Kaybının Artmasına Etki Eden Temel Faktörler

Türkiye’de gelecekte olası depremlerde meydana gelebilecek can ve mal kayıplarının azaltılması için alınabilecek tedbirler açısından öneriler şu şekilde sıralanabilir;

- Türkiye’de depreme karşı alınması gereken stratejilerin ve bu konuda yapılacak eylemlerin planlandığı “Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı-2012-2023” çok güçlü tedbirleri içermektedir. Afet zararlarının azaltılmasına dönük bu planlamanın tam olarak uygulanması Türkiye’de can ve mal kayıplarının minimize edilmesi açısından önemlidir.
- Türkiye’de meydana gelen depremlerde yaşanacak insani, sosyal, ekonomik tahribatları minimuma indirmek için önceki depremlerdeki eksikliklerin giderilmesi, radikal tedbirlerin alınması ve uygulamalarının kontrol edilmesi son derece önemli ve gereklidir. Ayrıca; afet tehlikelerine karşı risk azaltmaya yönelik AR-GE çalışmalarına öncelik verilmeli ve deprem mühendisliği laboratuvarlarının ülke genelinde yaygın kullanımı koordine edilmelidir.
- Depremlerde meydana gelen can ve mal kayıplarının azaltılabilmesi için sadece yapı güvenliğinin sağlanması tek başına yeterli olmamaktadır. Deprem zararlarının azaltılmasında deprem güvenli kentsel alanların planlanması da önemlidir. Örneğin, kent planlamasında olası deprem zararlarının azaltılabilmesi için, zemin etütleri ve mikro bölgelemeler yapılması, buna bağlı arazi kullanımlarının sınırlandırılması, deprem anında ve sonrasında da kullanılabilir özellikte açık alanların oluşturulması ve ulaşım ağının kurulması gibi düzenlemelerin yapılması yararlı olacaktır.
- Olası deprem zararlarının azaltılmasının sağlanmasının en etkin yolu halkın eğitim ve öğretimi ile mümkün olacaktır. Bunun için; deprem olmadan önce, halkın deprem hakkında eğitilmesi, deprem anında ve sonrasında kendilerini nasıl koruyacakları, nasıl davranacakları konusunda halkın bilinçlendirilmesi ve bilgilendirilmesi can kaybını minimize edecektir. Bunun için modern bilgi ve iletişim teknolojileri kullanılarak halkın bilgilendirilmesi ve eğitilmesinde devamlılık gereklidir.
- Deprem zararlarını azaltma önlemleri İmar Yasası ve ilgili mevzuatlara yansıtılmalı, gecekondular ve kaçak yapılaşmayı teşvik eden imar affı gibi durumlardan vazgeçilmelidir. Ayrıca, tüm il merkezlerinde uzman afet yöneticileri aracılığıyla, afet yönetimi ile ilgili planların hazırlanması ve geliştirilmesi, bu alanda görev ve sorumluluk verilen kişilere eğitim ve tatbikatlar yaptırılmalıdır. Alarm ve erken uyarı sistemlerinin kurulması ve geliştirilmesi, deprem sırasında elektrik ve doğalgaz yangınlarına karşı otomatik olarak kesme sistemleri kurulmalıdır.
- Yapı denetiminde denetleyen ve denetlenen arasında kurulan bağın önüne geçilmeli ve sağlıklı bir kontrol mekanizmasının oluşturulması azami derecede önem taşımaktadır. Ayrıca, sertifikasız kişilerin inşaatlarda çalışmasının önlenmesine yönelik adımlar güçlendirilmelidir.
- Ayrıntılı bir yapı envanteri çıkartılarak hasar görebilirlikleri ve riskleri, güçlendirme çalışmalarının hangi düzeyde olduğu, kaç binanın yıkılıp yeniden yapıldığı, okullar, yurtlar, hastaneler başta olmak üzere tüm kamu binalarının mevcut durumu belirlenmelidir.
- Deprem sigortası tercihi yaygınlaştırılmalıdır. Konut almak için seçimini yaparken, yapının maketine, satış vaatlerine ve popüleritesine bakmaksızın; yapının güvenli ve yapının projesine uygun üretilip üretilmediğinin denetlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, tüketicilere teknik destek verecek bir kurum oluşturulabilir. Bu kurumu da yine devlet denetlemelidir. Bu kurumda yetkilendirilmiş uzman kişilerin yapı ve yapıda kullanılan malzemeler hakkında verecekleri rapor tüketicilere neyi alacakları hakkında önemli ve güvenli bir bilgi verecektir. Bu durum; sigorta şirketlerini, yapı ve malzeme üreticileri de kaliteli ve dayanıklı yapı ve malzeme yapma noktasında zorlayıcı unsur oluşturacaktır.
- Depreme dayanıklı binaların tasarım, malzeme ve standartlarını içeren çalışmalar desteklenmelidir. Su ve nemin yapıya zararlı etkilerinden korunması amacıyla su yalıtımı nitelikli hale getirilerek yapı malzemelerinin ömrü uzatılmalıdır.
- Yeni kanunlar önerilmeden önce mevcut kanunların daha etkin uygulanmasındaki eksiklikler dikkate incelenmelidir.
- 1996 yılında hazırlanan ve aradan geçen 20 yıllık sürede henüz revize edilmeyen “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasının ivedilikle yenilenmesi gereklidir. Türkiye genelindeki yerleşim birimlerinin hangi deprem kuşağında olduğunu ortaya koyan 2016 yönetmelik taslağıyla hazırlanan test aşamasındaki haritanın efektif şekilde kullanımı sağlanabilir.
- 1990-2000 yılları arasındaki depremlerde yaşanan olumsuz sonuçlar, sadece yapıların yapım sürecindeki yetersizliklerden değil, kentsel alanları planlama ve uygulamadaki yetersizliklerden, deprem öncesi, anında ve sonrasında yapılması gereken faaliyetlerin gerektiği gibi yapılmamasından kaynaklandığını göstermiştir. Yerleşim alanlarında bir deprem anında meydana gelebilecek kayıpların ve zararların azaltılabilmesi amacıyla önceden mevcut yapılarda deprem tehlikesinin ve riskinin belirlenmesi, afet senaryolarına göre hasar görebilirlik çalışmalarının yapılması, elde edilecek veriler ışığında da can kaybı ve yapı ölçeğinde hasarı tüm alanlarda azaltmaya dönük stratejik planların geliştirilmesi ve bu planların uygulanması gereklidir.
- Kentsel ve sanayi alanlarının, stratejik öneme sahip kritik mühendislik yapıları yer seçimlerinde ve ulaşım, petrol ve doğal gaz boru hatları güzergâh seçimlerinde deprem güvenliği için gereken parametrelere azami özen gösterilmelidir.

- Deprem zararlarını azaltmak için kurum, kuruluş ve sivil toplum örgütleri arasında bir iş birliği oluşturulmalı ve kamu tek merkezden ve doğru bilgilendirilmelidir.

### 3. SONUÇLAR

Türkiye nüfusunun %70'den fazlası birinci ve ikinci derece deprem bölgesinde yaşamasından dolayı, bölgenin tektonik özelliklerine uygun önlemler artarak devam etmelidir. Aksi halde, geçmişte olduğu gibi gelecekteki olası depremlerde de can ve mal kayıplarının olmaması için tedbirler son derece önemlidir.

Bu çalışmada öncelikle 1900-2014 yılları arasında Türkiye'de can kaybı ve hasara neden olan depremlere ait veriler incelenmiştir. Daha sonra; Türkiye'de can ve mal kaybının artmasına etki eden temel faktörler sıralanmış ve can ve mal kayıplarının azaltılması için alınan ve alınması gereken tedbirler makale içinde sıralanmıştır.

### 4. REFERANSLAR

ABYYHY (1997). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara.

Afet (2016). [www.afet.gen.tr/turkiye-deprem-kronolojisi.php](http://www.afet.gen.tr/turkiye-deprem-kronolojisi.php). Erişim tarihi: 09.04.2016

Barem (2011). [www.barem.com.tr/deprem-hazirliginda-sinifta-kaldik](http://www.barem.com.tr/deprem-hazirliginda-sinifta-kaldik). Erişim tarihi: 02.12.2011

Bikce, M. (2016). A database for fatalities and damages due to the earthquakes in Turkey (1900–2014), *Natural Hazards*, 83:3, 1359-1418.

Bikce, M. and Çelik, T.B. (2016). Failure analysis of newly constructed RC buildings designed according to 2007 Turkish Seismic Code during the October 23, 2011 Van earthquake, *Engineering Failure Analysis*, 64, 67-84.

Birinci, F. (2013). Türkiye'nin Depremselliği ve Yapı Stoğu Yönünden Mevzuat ve Mali Politikaların Kentsel Dönüşümü Zorlaştıran Unsurları, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Antakya-Hatay, 25-27 Eylül 2013.

Cagatay, I.H. (2005). Experimental evaluation of buildings damaged in recent earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis* 12, 440–452.

Csb (2015). [www.csb.gov.tr/iller/dosyalar/dosya/il\\_webmenu11722.pdf](http://www.csb.gov.tr/iller/dosyalar/dosya/il_webmenu11722.pdf). Erişim tarihi: 02.04.2015

Dask (2005). [www.dask.gov.tr/content/pdf/2013\\_dask\\_faaliyet\\_raporu.pdf](http://www.dask.gov.tr/content/pdf/2013_dask_faaliyet_raporu.pdf). Erişim tarihi: 02.06.2013

DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara.

Demircan, A. (2012). Kredi İşlemleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Finansman Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Deprem (2016a). [www.deprem.gov.tr/tr/kategori/deprem-bolgeleri-haritasi-28841](http://www.deprem.gov.tr/tr/kategori/deprem-bolgeleri-haritasi-28841). Erişim tarihi: 25.12.2016

Deprem (2016b) [www.deprem.gov.tr/sarbis/doc/belgeler/udsep2012-2023.pdf](http://www.deprem.gov.tr/sarbis/doc/belgeler/udsep2012-2023.pdf). Erişim tarihi: 02.04.2016

Duman, T. Y. (2015). Yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritaları ve Deprem Tehlikesinin Belirlenmesi Açısından Önemi, MTA – Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

Ergünay, O. (1999). Afet Yönetimi Nasıl Olmalı” İTÜ Vakıf Dergisi, 1999 Aralık, 30-79.

Gurenko, E., Lester, R. Mahul, O. and Gonulal, S.O. (2006). Earthquake Insurance in Turkey, 38654, The World Bank, Washington DC, USA. p136

İbb (2015). [www.ibb.gov.tr/sites/akom/documents/bilimsel\\_teknik.html](http://www.ibb.gov.tr/sites/akom/documents/bilimsel_teknik.html)

Kalkınma (2015). [www.kalkinma.gov.tr/Lists/Kalkinma%20Planlar/Attachments/12/Onuncu%20Kalk%C4%B1nma%20Plan%C4%B1.pdf](http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/Kalkinma%20Planlar/Attachments/12/Onuncu%20Kalk%C4%B1nma%20Plan%C4%B1.pdf). Erişim tarihi: 12.04.2015

Kocaman, C. (2012). Deprem Riskli Binaların Tespiti, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü, Yer Bilimsel Etüt Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Milliyet (2011). [www.gundem.milliyet.com.tr/deprem-felaketi-turkiye-nin-kaderi/gundem/gundemdetay/](http://www.gundem.milliyet.com.tr/deprem-felaketi-turkiye-nin-kaderi/gundem/gundemdetay/)

19.12.2011/1477300/default.htm. Erişim tarihi: 19.12.2011

Milliyet (2015). [www.gazetearsivi.milliyet.com.tr](http://www.gazetearsivi.milliyet.com.tr). Erişim tarihi: 12.04.2015

Mta (2015) [www.mta.gov.tr/v2.0/deprem/index.php?id=dirifay\\_son](http://www.mta.gov.tr/v2.0/deprem/index.php?id=dirifay_son), [www.mta.gov.tr](http://www.mta.gov.tr). Erişim tarihi: 02.04.2015

Öcal, C., İnce, H.H. (2012). Türkiye’de Mevcut Yapı Stoğu Ve Kentsel Dönüşüm, SDU International Technologic Science, 4(2), 89-95.

Özmen, B., Nurlu, M. ve Güler, H. (1997). Coğrafi bilgi sistemi ile deprem bölgelerinin incelenmesi, Afet İşleri Genel Müdürlüğü yayını 10, Ankara

Pusch, C. (2004). New Approaches to Promote Disaster Risk Mitigation: Lessons Learned in Europe and Central Asia Region. In Catastrophe Risk and Reinsurance: A Country Risk Management Perspective, ed. E. Gurenko. London: Risk Books.

Rg (2010). [www.rehagunay.com/Yazilar\\_16.html](http://www.rehagunay.com/Yazilar_16.html). Erişim tarihi: 02.12.2010

Sgk (2013). [www.sgkrehberi.com/haber/17952/](http://www.sgkrehberi.com/haber/17952/). Erişim tarihi: 02.06.2013

Swiss Re. (2005). World Insurance in 2004: Growing Premiums and Stronger Balance Sheets. Sigma No 2/2005.

Tuik (2015). [www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15843](http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15843). Erişim tarihi: 08.02.2015

Tuik (2017). <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24638>. Erişim tarihi: 31.01.2017



## Anyonik Boyaların Giderilmesi için 4-VP-g-PET Lif ve N-Oksit Türevinin Sentezi

### Synthesis of 4-VP-g-PET Fibers and Its Derivate N-Oxide for Removal Anionic Dye

Metin ARSLAN\*<sup>1</sup>, Kübra GÜNAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Yahşihan, 71450 KIRIKKALE

<sup>2</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yahşihan, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 20/04/2017

Kabul/Accepted: 27/05/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Bu çalışmada, 4-vinil piridin (4-VP) aşılanmış Poli(etilen tereftalat) (PET) lifler oksitlenerek asit viyole 7 (AV7) boyasının adsorpsiyonu için kullanılmıştır. Bu amaçla 4-VP aşılanmış PET lifler N-oksitleme yapılarak boya adsorpsiyonu farklı deneysel koşullarda araştırılmıştır. AV7 adsorpsiyonuna ortam pH'sı, boyanın başlangıç derişimi ve sürenin etkileri incelenmiştir. Ayrıca boya adsorpsiyonu yapılmış PET liflerin desorpsiyonu ve tekrar kullanılabilirliği de incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir. 4-VP aşılanmış PET liflerin oksitlenenleri, 4-VP aşılanmış PET liflere göre önemli miktarda daha fazla boya adsorplamıştır. N-oksit-4-VP-g-PET lifinin maksimum adsorpsiyon kapasitesi 22 mg g-1 olarak gözlenmiştir. N-oksit-4-VP-g-PET lif üzerine adsorpsiyon için optimum pH 5 bulunmuştur. Adsorplanan AV7 boyasının tamamına yakını (%60) aşılanmış PET liflerden desorbe edilmiştir. Ard arda 10 kez tekrarlanan adsorpsiyon-desorpsiyon işlemi ile aşılanmış PET liflerin adsorpsiyon kapasitesinde önemli bir azalma olmadan tekrar kullanılabilirliği gözlenmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“N-oksit-4-vinilpiridin, Poli(etilen tereftalat) Lif, Vinil Monomer Aşılama, Asit Viyole 7, Uzaklaştırma, Yeniden Kullanma”

#### Abstract

In present study, 4-vinyl pyridine grafted Poly(ethylene terephthalate) (4-VP-g-PET) fibers were oxidized and used for adsorption of acid violet 7 (AV7) dye. For this purpose, 4-VP-g-PET fibers were N-oxidized and these oxidized fibers were investigated for dye adsorption under different experimental conditions. The pH of the medium, the initial concentration of the dye and time were the parameters for the AV 7 adsorptions. In addition, desorption and reusability of adsorbed PET fibers were also investigated. As a consequence of current study, the obtained findings were indicated below. N-oxide-4-VP-g-PET fibers were adsorbed significantly more dye than 4-VP-g-PET fibers. N-oxide-4-VP-g-PET fibers maximum adsorption of AV7 was observed at 22 mg g-1 polymer (pH 5). Approximately full of the adsorbed AV 7 dye was desorbed (60%) from inoculated PET fibers. Ten removal-desorption cycles indicated that the reactive fibers were favourable for use it again without notable change in removal capacity.

#### Key Words

“N-oxide-4-Vinylpyridine, Poly(ethylene terephthalate) Fiber, Grafting Vinyl Monomers, Acid Violet 7, Removal, Reusing”

## 1. GİRİŞ

Sentetik boyalar tekstil, boya, kağıt ve baskı, deri, gıda gibi birçok endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yüzyılda 100.000'in üzerinde sentetik boya ticari olarak kullanılmakta ve yılda 700.000 ton boya üretimi yapılmaktadır. Bu boyaların üretim ve kullanımı sırasında arta kalan boyalar göz önünde bulundurulduğunda, atıksulardaki boya miktarının çevresel olarak önemi ortaya çıkar. Çok düşük derişimdeki sentetik boyanın varlığı bile suda önemli su kirletici madde konumundadırlar. Bu boyalar canlılar üzerinde zehirli veya kanserojen etki gösterebilir. Özellikle de renkli boyalar ışık nüfuzunu engellediğinden suda yaşayan bitkilerin yaşamında fotosentetik aktiviteyi önemli ölçüde etkilemektedir (Stephenson&Sheldon, 1996).

Atıksudaki boyaların giderimi, toksisiteleri nedeniyle önemli konulardan biridir. Bu nedenle, sentetik boyaların uzaklaştırılmasında kullanılan kimyasal ve fiziksel yöntemler incelenmiştir (Weiping vd., 1993). Adsorpsiyon işlemi, sentetik boyaları atıksudan uzaklaştırmak için en yaygın kullanılan fiziko-kimyasal yöntemdir. Sentetik boyaların uzaklaştırılması için birçok adsorbent denenmiştir (Yiğitoğlu vd., 1998) ve fonksiyonel gruplara sahip adsorbanlar geniş bir şekilde araştırılmıştır (Arslan&Yiğitoğlu, 2008).

Sentetik boyalar, fiziksel ve kimyasal işlemler uygulanmış polimerlerin adsorpsiyonuyla uzaklaştırılabilir (Blokland, 1968). Son yıllarda, çeşitli kirleticilerin uzaklaştırılması için amin, amid (Yiğitoğlu&Temoçin, 2010), karboksilik asit (Arslan&Günay, 2016), epoksi (Arslan, 2010), piridin (Yiğitoğlu&Arslan, 2007) ve hidroksil (Yiğitoğlu&Arslan, 2007) gibi farklı işlevsel gruplara sahip lifli polimerlerin sentezlendiği ve kullanıldığı üzerinde durulmuştur.

Poli(etilen tereftalat) (PET); kimyasal maddelere dayanıklı ve yüksek erime noktası nedeniyle endüstriyel kullanıma oldukça elverişlidir. Günümüzde endüstriyel alanda özellikle de tekstilde geniş çapta kullanılmaktadır. Güçlü kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir. Bakteri ve böceklere karşı dayanıklılığı yanında ışık etkisiyle degradasyona uğramaz. Asit, baz ve deterjanlara karşı dayanıklıdır. Bu iyi özelliklerine rağmen düşük su tutma, zayıf boyanabilirlik, yüksek statik yüklenme ve zayıf yapışkanlık gibi dezavantaj oluşturabilecek özellikleri de vardır (Yiğitoğlu&Arslan, 2005).

PET liflerin dezantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla uygulanan yöntemlerden biri poli ester yapısına aşırı kopolimerizasyonla uygun gruplar taşıyan monomerlerin sokulmasıdır. Bu yöntemle ana zincirde ve yan zincirlerde yer alan monomerin türlerine bağlı olarak çok farklı yapılarda aşırı kopolimerler elde edilir (Yiğitoğlu&Temoçin, 2010). Modifiye edilmiş polimer, orijinal polimere göre daha üstün özelliklere sahip olmaktadır.

Bu çalışmada, 4-vinil piridin (4-VP), kimyasal yöntemle PET liflere aşılandı. 4-VP-g-PET liflerinin piridin grubunun N-oksidasyonu ile kimyasal modifikasyonu gerçekleştirilerek adsorbans gücü artırıldı. Asit Viyolet 7 (AV7) boyasının N-oksit-4-VP-g-PET lifleri ve 4-VP-g-PET lifleri ile sulu çözeltiden uzaklaştırılması incelendi.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Aşırı kopolimerizasyonunda kullanılacak PET lifler SASA (Sun'i ve Sentetik Elyaf A.Ş.)'den temin edildi. Lif numuneleri, üretim veya kullanım sırasında meydana gelebilecek herhangi bir kirlenmeye karşı asetonda soxhlet cihazında yıkandı ve sabit tartıma getirildikten sonra kullanıldı. 4-VP aşırı kopolimerleşmesinde monomer olarak kullanıldı. Oksitleme, %20'lik hidrojen peroksit asetik asit karışımıyla yapıldı.

### 2.2. Sentez

PET lifler üzerine vinil monomeri aşılama işlemi azot gazı girişi olan 100 ml'lik polimerizasyon tüpleri kullanıldı. PET lifler, içerisinde monomer ve su bulunan polimerizasyon tüplerine konuldu. Polimerizasyon tüpleri sabit sıcaklıktaki su banyosunda azot gazı geçirilerek termal dengeye gelmesi için 20 dakika beklendi. Benzoil peroksit (Bz<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)'nin aseton içerisinde uygun derişimdeki çözeltisinden 2 ml ilave edilerek toplam hacim 20 ml tamamlandı ve geri soğutucu altında azot atmosferinde belirli sürelerde aşılama işlemi yapıldı. Belirlenen aşılama süresi sonunda lifler polimerizasyon tüplerinden alınarak liflerin yüzeyinde kalan çözücü, monomer ve homopolimer metanol ile sokslet cihazında yıkanarak uzaklaştırıldı. Lifler etüvde kurutularak tartıldı (Arslan vd., 2003).

Aşılama yüzdesi, orijinal ve aşılama lif tartımlarının farkından gravimetrik olarak tayin edilerek aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\% \text{ Aşırı} = [(g_A - g_0)/g_0] \times 100$$

$g_A$  = Aşılama lifin kuru kütlesi,

$g_0$  = Orijinal lifin kuru kütlesidir.



### 2.3. N-Oksitleme

50 ml lik erlenlerde 30 ml %20 lik hidrojen peroksit asetik asit karışımına aşılannmış lif atıldı. Bu karışım 25 °C de 24 saat boyunca 125 rpm hızda çalkalayıcıda (Medline BS-21) karıştırıldı. Oksitlenmiş lif 12 saat süresince su ile yıkandı ve etüvde 50 °C de kurutuldu.

### 2.4. FTIR Spektrum

PET, 4-VP aşılannmış ve oksitlenmiş PET liflerinin FTIR spektrumları elde edildi. Lifler yaklaşık 1 mm boyutta kesildi, KBr ile karıştırıldı ve daha sonra preslendi. Spektrumlar bir Bruker Vertex 70V FTIR fotometrede kaydedildi.

### 2.5. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) Analizi

SEM analizi JEOL Model JSM 5600 kullanılarak orijinal ve 4-VP-g-PET lifinin yüzey morfolojisini araştırmak için gerçekleştirildi.

### 2.6. Adsorpsiyon Çalışması

Adsorpsiyon işleminin tamamında kesikli (batch) proses ile 50 ml lik erlenlerde gerçekleştirildi. Adsorban olarak kullanılacak oksitlenmiş ve oksitlenmemiş modifiye PET lifler 0,1± 0,01g tartılarak içerisinde 25 ml boya çözeltisi bulunan erlenin içine atıldı, ağzı kapatıldı ve karıştırıcıda 100 rpm hızda belirli derişim, pH ve zamanda karıştırıldı. Numuneler alındı ve numunelerdeki boya konsantrasyonu UV-Visible spektrofotometre ( $\lambda=520$  nm, Perkin Elmer Lambda 25) ile tayin edildi. Adsorplanan boya miktarı aşağıdaki denklem ile hesaplandı (Yiğitoğlu&Arslan, 2009).

$$q = (C_0 - C)V/m$$

q = Bir gram adsorban tarafından adsorplanan boya miktarı (mg/g)

$C_0$  = Boya çözeltisinin başlangıç konsantrasyonu (mg/L)

C = Boya çözeltisinin denge konsantrasyonu (mg/L)

V = Boya çözeltisinin hacmi (L)

m = Adsorbanın miktarı (g)

### 2.7. Desorpsiyon Çalışması

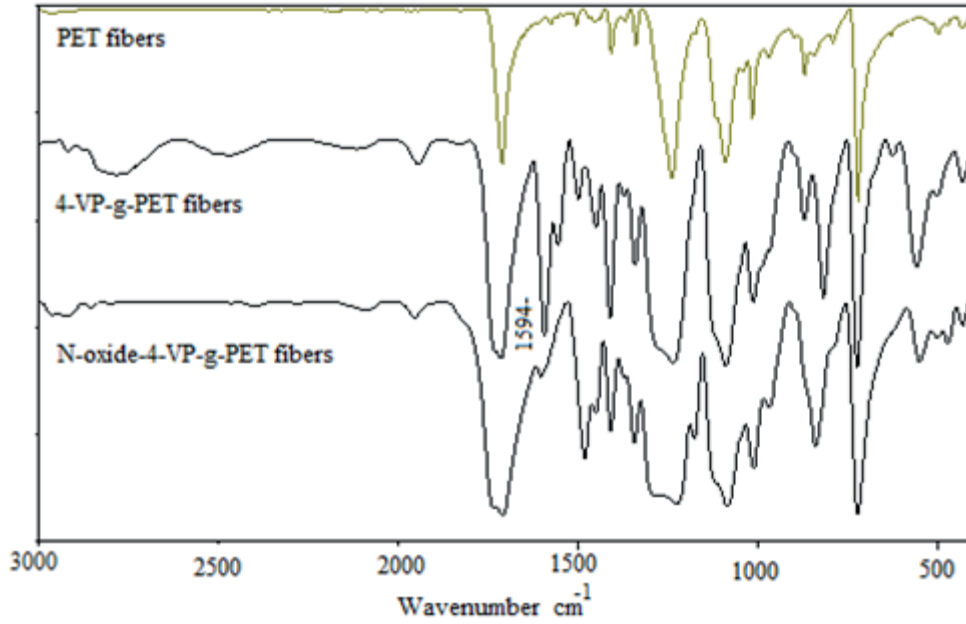
AV7 boyaalarının desorpsiyonu 25 mL 1 M HNO<sub>3</sub> ile incelendi. Boya farklı sürelerde desorbe edildi, daha sonra suyla seyreltildi ve yukarıdaki gibi analiz edildi. Desorpsiyon yüzdesi aşağıdaki denklem ile bulundu:

$$\% \text{ Desorpsiyon} = [\text{desorpsiyon ortamına salınan boya miktarı (mg) / adsorplanan boya miktarı (mg)}] \times 100$$

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

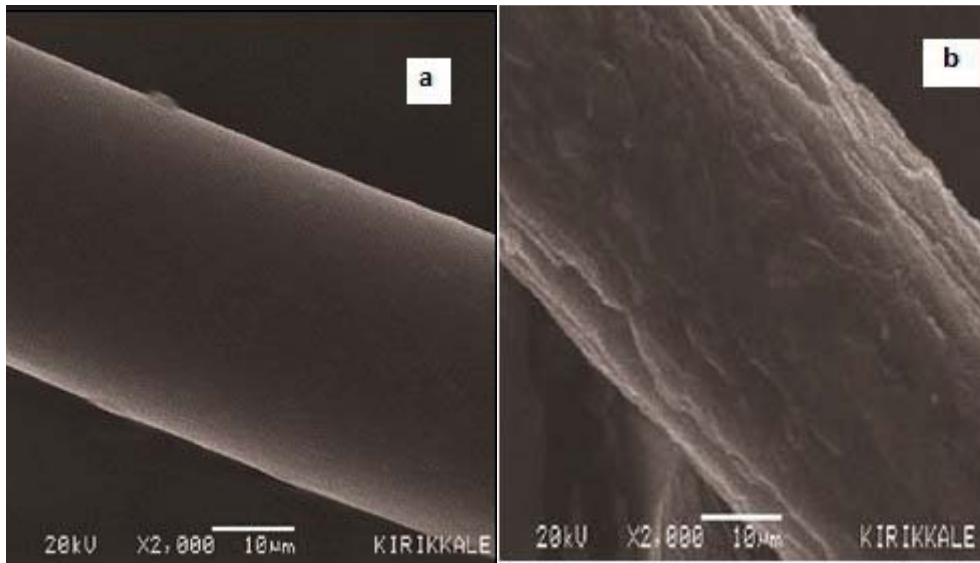
Bu çalışmanın amacı, toksik bir boya olan Asit Viyolet 7'nin uzaklaştırılması için piridin ve oksitlenmiş piridin grubu içeren etkili bir lifin yeni uygulamasıdır. Öncelikle, poli(etilen teraftalat) (PET) lifleri 4-vinil piridin ile aşılandı (4-VP-g-PET lifleri), daha sonra oksitlendi. Piridin ve oksitlenmiş piridin fonksiyonel grupları PET'in yapısına sokuldu. Modifiye PET lifleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve FT-IR spektrumu ile karakterize edildi.

PET üzerine 4-VP'nin kimyasal aşılması, aşılama mekanizması ve karakterizasyonu önceki çalışmamızda (Arslan vd., 2003) gösterilmiştir. Orijinal 4-VP-g-PET ve N-oksit-4-VP-g-PET liflerinin FT-IR spektrumu analiz edildi ve Şekil 1'de gösterildi. Orijinal PET liflerinin FT-IR spektrumu, C = O (1712 cm<sup>-1</sup>'de), C = C ve alifatik C-H (1411 ve 1578 cm<sup>-1</sup>'de) PET lifte görülür. 4-VP ile aşılamanın ardından, 4-VP-g-PET liflerinin spektrumu değişti. Spektrumda 1594 cm<sup>-1</sup>'de yeni pik oluştuğu görüldü ve bu durum 4-VP gruplarının rezonans piklerine bağlıdır. 4-VP-g-PET liflerinin N-oksidasyonundan sonra, yeni pik kayboldu ve N-oksit-4-VP birimlerinin absorpsiyonunun sonucu olarak, 4-VP halkasının oksitlendiğini gösterdi.



Şekil 1. Liflerin FT-IR spektrumu

Orijinal ve 4-VP-g-PET liflerinin taramalı elektron mikrografları Şekil 2'de gösterilmektedir. SEM sonuçlarına göre, aşınmamış PET lif yüzeyinin (Şekil 2a) düz ve nispeten homojen bir görünüme sahip olduğu açıktır. Aşınmış yan zincir 4-VP, PET lifte mikro fazlar oluşturması ve aşı kopolimerinde heterojen bir görünüme neden olması (Şekil 2b) aşılamanın kanıtı olarak gösterilir.



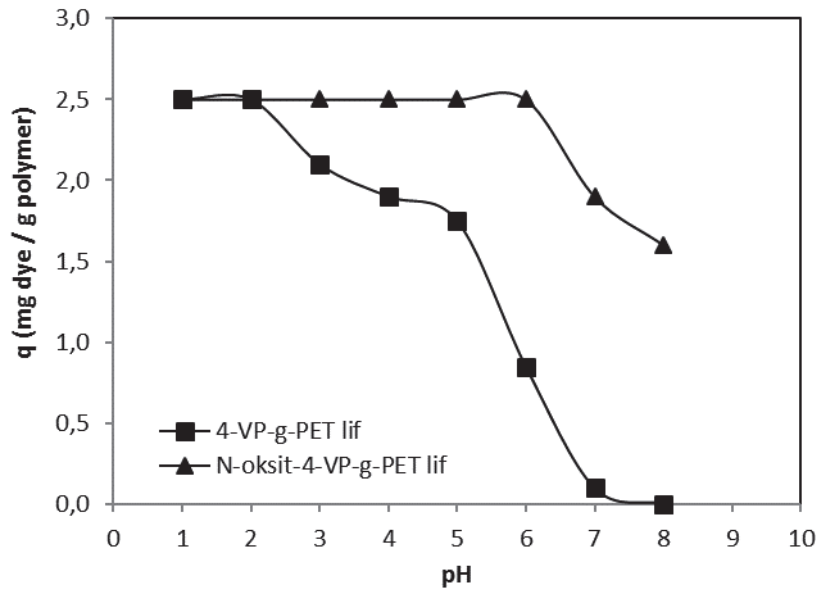
Şekil 2. SEM fotoğrafları (a) original (b) 4-VP-g-PET lifi (80 %)

### 3.1. pH'ın Adsorpsiyona Etkisi

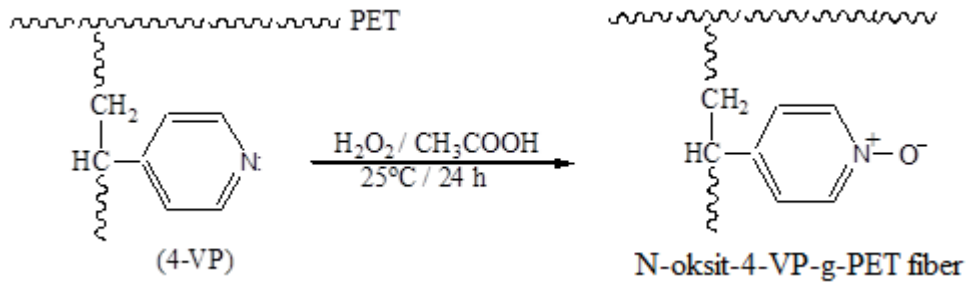
Sulu çözeltinin pH'ı liflerin yüzeyini etkilemektedir. pH, 1-8 aralığında Briton-Rabinson tampon çözeltisiyle istenilen değerde ayarlanmış; 10 ppm, 25 ml boya çözeltisi 0,1 g oksitlenmiş ve oksitlenmemiş modifiye PET lifler 100 rpm hızında, 25 °C sıcaklıkta, 1 saat süreyle karıştırıldı. Şekil 3, farklı çözelti pH değerlerinde AV7 boyasının 4-VP-g-PET ve N-oksit-4-VP-g-PET lif adsorbentinin performanslarını göstermektedir. 4-VP-g-PET lifi pH 2'den sonra bir azalma gösterirken, N-oksit-4-VP-g-PET lifi pH 1-6 arasında maksimum değer gösterdi. Bundan sonraki çalışmalarda pH 5 olarak çalışıldı. Çeşitli pH'larda AV7'nin adsorpsiyon davranışını açıklayabilmek için adsorpsiyondan sorumlu olan elektrostatik etkileşim ve kimyasal reaksiyon gibi çeşitli mekanizmaların açıklanması gereklidir. Düşük pH'larda modifiye edilmiş PET lifin yüzeyi pozitif yüklenir ve böylece adsorbent ile AV7 arasında elektrostatik etkileşim meydana gelir. pH arttıkça adsorbent ile AV7 arasındaki etkileşim



azalmaktadır. Ancak N-oksit-4-VP-g-PET lif üzerindeki pozitif yükten dolayı AV7 ve OH<sup>-</sup> iyonları buraya bağlanmak için yarış halindedir. OH<sup>-</sup> iyonunun sayısı arttıkça boya adsorpsiyon miktarı azalmaktadır. Yüksek adsorpsiyon oranı N-oksit-4-VP grupları ve anyonik boya arasındaki kuvvetli elektrostatik etkileşimden kaynaklanmaktadır.



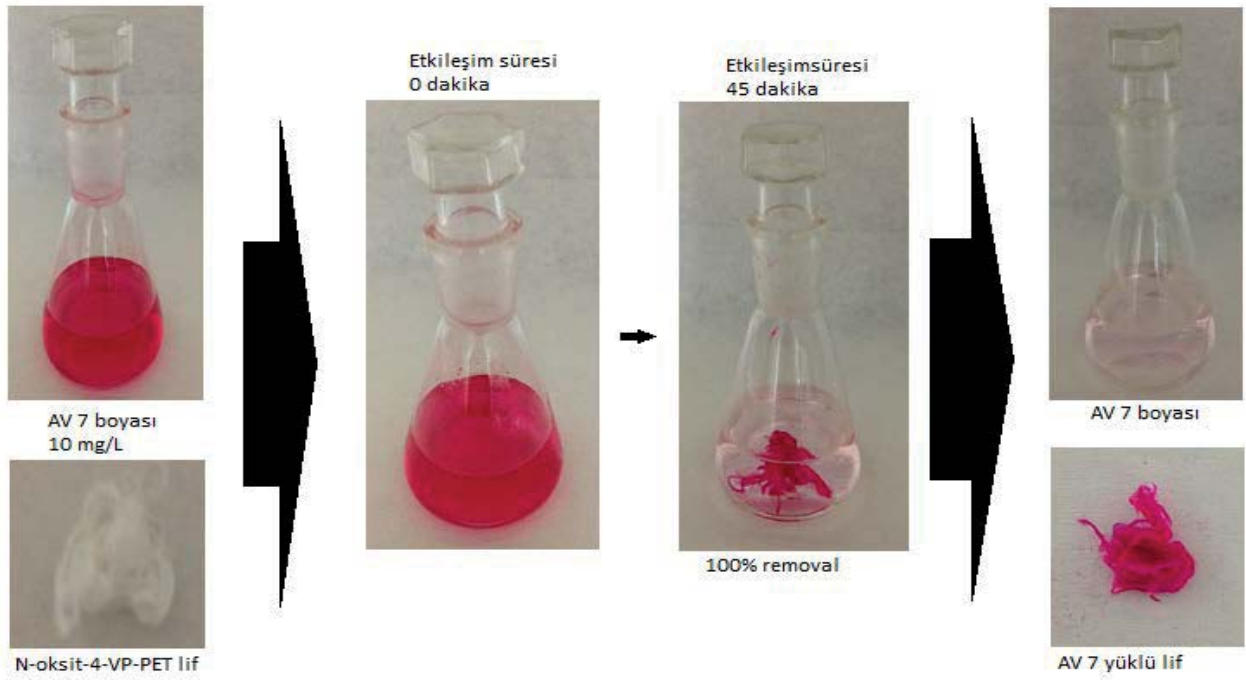
Şekil 3. pH etkisi: [boya] = 10 mg/L; T = 25 °C; t = 60 dak.; aşılma yüzdesi = 65 %



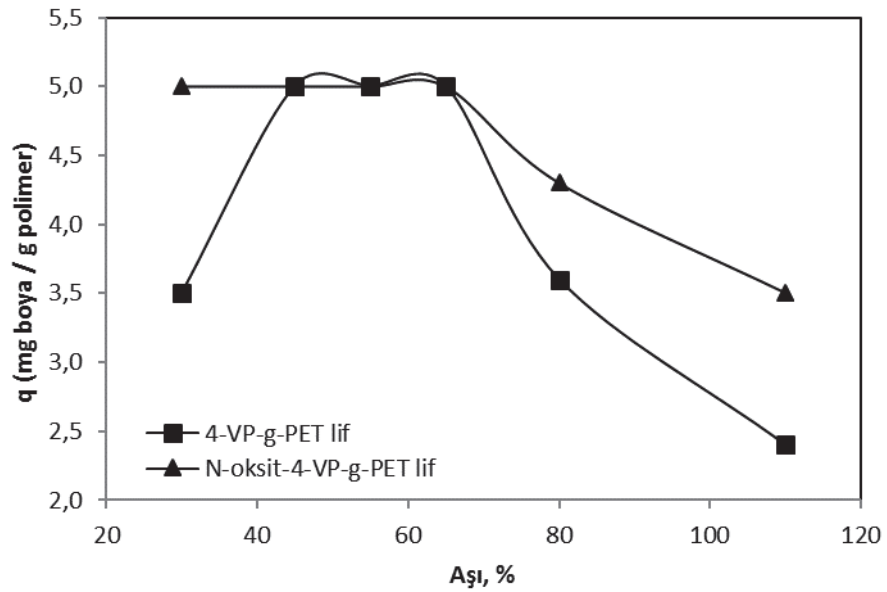
Şekil 4. 4-VP-g-PET lifinin N oksidasyonu

### 3.2. Aşılma Yüzdesi ve Zamanın Adsorpsiyona Etkisi

Farklı yüzdelerde aşılma 4-VP-g-PET lifler ve oksitlenmiş liflerden 0,1 g alınarak 25 ml 20 ppm boya çözeltisinde, optimum pH değerlerinde, 1 saat 25°C de karıştırıldı. Aşılma miktarının, adsorbe edilmiş AV7 boya miktarına etkisi araştırıldı (Şekil 5). Sonuçlar Şekil 6'te gösterildi. Aşılma verimi % 65'e ulaşıncaya kadar boya adsorpsiyonu artarken, daha sonra azalma görüldü.

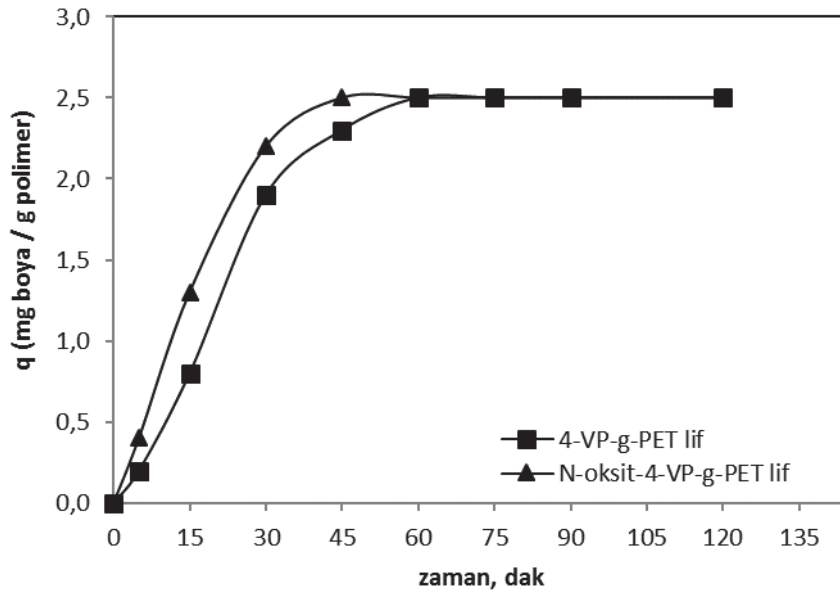


Şekil 5. AV7 nin uzaklaştırma işlemini gösteren fotoğraf



Şekil 6. Aşı yüzdesinin etkisi: [boya] = 20 mg/L; T = 25 °C; t = 60 dak

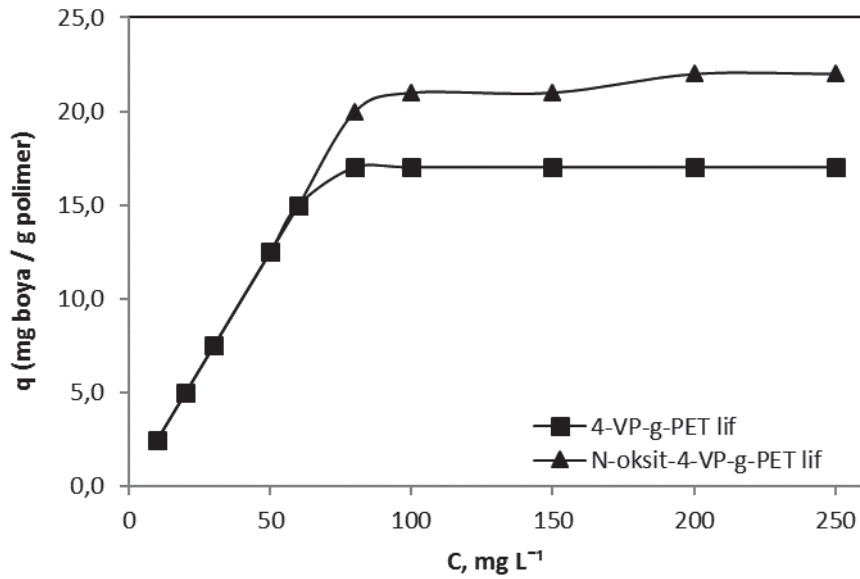
Lif adsorpsiyonunun en önemli özelliklerinden bir tanesi, adsorpsiyonun dengeye ulaşmasıdır. Boyaların hızlı adsorbansı bir avantajdır. Şekil 7’de adsorpsiyon dengesinin AV7 boyası için hızlı bir şekilde ulaşıldığı gözlemlendi. Oksitlenmemiş modifiye PET lif 60 dakikada dengeye ulaşırken, oksitlenmiş olan lif için bu sürenin 45 dakika olduğu görüldü.



Şekil 7. Sürenin etkisi: [boya] = 20 mg/L; T = 25 °C; aşı yüzdesi = 65 %

### 3.3. Boya İyon Konsantrasyonunun Adsorpsiyona Etkisi

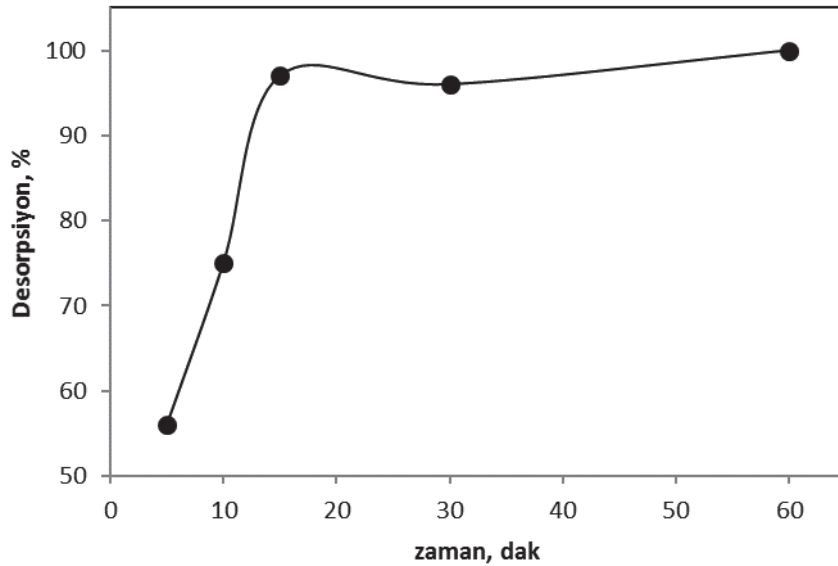
Başlangıç konsantrasyonunun lifler üzerine etkisi 10 ile 250 mg L<sup>-1</sup> arasında değişen boya konsantrasyonu ile incelendi. Şekil 8'de gösterildiği gibi, N-oksid-4-VP-g-PET liflerinin adsorpsiyon kapasitesi AV7 boya konsantrasyonunun artmasıyla artmıştır. 4-VP aşılansmış PET liflerin oksitlenenleri, 4-VP aşılansmış PET liflere göre daha fazla boya adsorplamıştır. Maksimum AV7 adsorpsiyonu oksitlenenlerde 22 mg g<sup>-1</sup> iken oksitlenmeyenlerde bu değerin 17 mg g<sup>-1</sup> olduğu görüldü.



Şekil 8. Boya derişimin etkisi: T = 25 °C; Aşı yüzdesi = 65 %; t = 60 dak

### 3.4. Desorpsiyon Çalışması

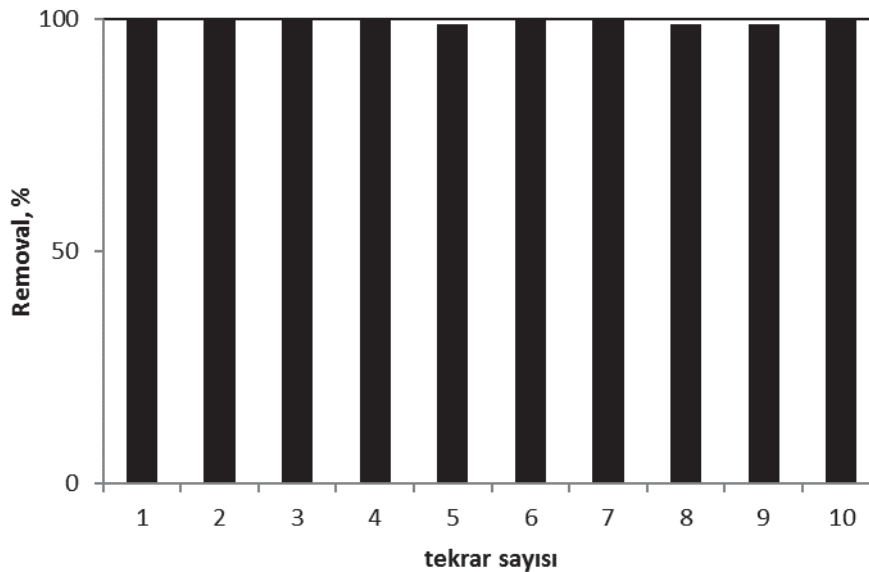
Bir polimerin adsorbent olarak kullanılması kadar, desorpsiyon çalışmalarına sonuç vermesi de ekonomik açıdan önemlidir. 4-VP-g-PET lifin N-oksidasyonu 1 M HNO<sub>3</sub> ile desorbe edildi. Şekil 9'da zamanla desorbe edilen boya miktarının değişimi gösterildi. N-oksid-4-VP-g-PET lifleri stabilitesini ve aktivitesini kaybetmeden 100 % desorbe edilmiştir. Bu nedenle, anyonik boyaların giderilmesi için etkili ve ekonomik bir adsorbent olabilir.



Şekil 9. Desorpsiyon: [boya] = 50 mg/L; T = 30 °C; aşı yüzdesi = 65 %

### 3.5. Tekrar Kullanılabilirlik

N-oksit-4-VP-g-PET liflerin tekrar kullanılabilirliğini göstermek için, aynı lif kullanarak AV7 boya için adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsü on kez tekrar edildi. Şekil 10'da gösterildiği gibi, adsorbent adsorpsiyon kapasitesini kaybetmeden defalarca kullanılmaktadır. Böylece, N-oksit-4-VP-g-PET lifin adsorpsiyon kapasitesi düşmeden tekrar tekrar kullanılabilirliği gösterilmiştir ve adsorbentler için önemli bir özelliktir.



Şekil 10. Adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsü sayısı

## 4. SONUÇLAR

4-VP-g-PET lif  $H_2O_2/CH_3COOH$  karışımı ile reaksiyona sokularak oksit türevi elde edildi ve adsorban olarak kullanılarak asit viyole 7 boyasının adsorpsiyonu başarıyla gerçekleştirildi. 4-VP-g-PET lifleri oksitlenerek adsorpsiyon kapasitesi arttırıldı. N-oksit-4-VP-g-PET liflerinin adsorpsiyon kapasitesi artan pH değerleriyle arttı. Adsorpsiyon işlemi pH'ya bağlıdır ve maksimum adsorpsiyon pH 5'te elde edildi. 4-VP-g-PET liflerinin N-oksidasyonunun maksimum adsorpsiyon kapasitesi 250 ppm'de  $22 \text{ mg g}^{-1}$ 'dir. Adsorpsiyon prosesi çok hızlı bir şekilde 45 dakikada dengeye ulaşıldı. N-oksit-4-VP-g-PET lifine adsorbe edilen anyonik boyalar nitrik asit kullanılarak desorbe edildi. Adsorban, adsorpsiyon kapasitesinin etkinliğini ve kararlılığını kaybetmeden

sorpsiyon-desorpsiyon döngüsüyle tekrar tekrar kullanılabilirliği gösterildi. 4-VP-g-PET liflerinin N-oksidadasyonunun, AV7 gibi anyonik boya ların giderilmesinde etkili bir alternatif materyal olduğu bulundu.

## **TEŞEKKÜR**

Yazarlar bu çalışmanın mali desteği için Kırıkkale Üniversitesi Araştırma Fonu'na minnettardır.

## **REFERANSLAR**

- Arslan, M., Yiğitoğlu, M., Şanlı, O., & Ünal, H. İ. (2003). Kinetics of swelling assisted grafting of 4-vinyl pyridine onto poly(ethylene terephthalate) fibers using a benzoyl peroxide initiator. *Polymer Bulletin*, 51(3), 237-244. doi:10.1007/s00289-003-0212-6
- Arslan, M. (2010). Use of 1,6-diaminohexane-functionalized glycidyl methacrylate-g-poly(ethylene terephthalate) fiber for removal of acidic dye from aqueous solution. *Fiber and Polymers*, 11(2), 177-184. doi:10.1007/s12221-010-0177-7
- Arslan, M., Günay, K. (2016). Synthesis and characterization of PET fibers grafted with binary mixture of 2-methylpropenoic acid and acrylonitrile by free radical: its application in removal of cationic dye. *Polymer Bulletin*, 74(4), 1221-1236. doi:10.1007/s00289-016-1773-5
- Arslan, M., & Yiğitoğlu, M. (2008). Adsorption behaviour of congo red from aqueous solution on 4-vinyl pyridine grafted poly(ethylene terephthalate) fibers. *Journal Applied Polymer Science*, 107(5), 2846-2853. doi:10.1002/app.27389
- Blokland, R. (1968). Elasticity and structure of polyurethane networks. Rotterdam, MA: Rotterdam Univ. Press.
- Stephenson, R. J., & Sheldon, J. B. D. (1996). Coagulation and precipitation of a mechanical pulping effluent by: I removal of carbon color and turbidity. *Water Research*, 30(4), 781-792. doi:10.1016/0043-1354(95)00213-8
- Weiping, L., Yun, L., & Hanmin, Z. (1993). Extraction of gold from Au (III) ion containing solution by a reactive fiber. *J. Appl. Polym. Sci.*, 49(9), 1635-1638. doi:10.1002/app.1993.070490915
- Yiğitoğlu, M., & Arslan, M. (2005). Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solutions using 4-vinyl pyridine grafted poly(ethylene terephthalate) fibers. *Polymer Bulletin*, 55(4), 259-268. doi:10.1007/s00289-005-0440-z
- Yiğitoğlu, M., & Arslan, M. (2007). Adsorption behaviour of methylene blue from aqueous solution on poly(ethylene terephthalate)-g-4-vinylpyridine 2-hydroxyethylmethacrylate fibers. *E-Polymers*, 7(1), 1-15. doi:10.1515/epoly.2007.7.1.635
- Yiğitoğlu, M., & Arslan, M. (2007). 4-Vinyl pyridine and 2-hydroxyethylmethacrylate monomer mixture graft copolymerization onto poly(ethylene terephthalate) fibers using benzoyl peroxide. *Polymer Bulletin*, 58(5-6), 785-798.
- Yiğitoğlu, M., Ersöz, M., Coşkun, R., Şanlı, O., & Ünal, H. İ. (1998). Adsorption of Cu (II), Co (II), and Fe (III) ions from aqueous solutions on poly(ethylene terephthalate) fibers. *J. Appl. Polym. Sci.*, 68, 1935-1939. doi:10.1002/(SICI)1097-4628(19980620)68:12<1935::AID-APP6>3.0.CO;2-M
- Yiğitoğlu, M. & Temoçin, Z. (2010). Removal of benzidine-based azo dye from aqueous solution using amide and amine-functionalized poly(ethylene terephthalate) fibers. *Fibers and Polymers*, 11(7), 996-1002. doi:10.1007/s12221-010-0996-6
- Yiğitoğlu, M., & Arslan, M. (2009). Selective removal of Cr(VI) ions from aqueous solutions including Cr(VI), Cu(II) and Cd(II) ions by 4-vinyl pyridine/2-hydroxyethylmethacrylate monomer mixture grafted poly(ethylene terephthalate) fiber. *Journal of Hazardous Materials*, 166(1), 435-444. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.11.075



## Kuars ve Metakaolen Katkısının Jeopolimerlerin Özellikleri Üzerine Etkisi

### The Effect Of Quartz and Metakaolen Addition on the Properties of Geopolymers

Tuna AYDIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yahşihan, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 08/03/2017

Kabul/Accepted: 20/05/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Yapılan bu çalışmada jeopolimer malzemelerin mikroyapı özellikleri üzerine kuvars ve metakaolen katkısının etkileri incelenmiştir. Bu doğrultuda, numunelerin üretiminde kullanılan uçucu kül Soma Termik Santrali uçucu külü olup, karışımlarda, alkali aktifleştirici olarak; sodyum silikat solüsyonu (SS) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Hazırlanan harçlar, 280 mm x 70 mm x 70 mm'lik çelik kalıplarda ve vibrasyon yöntemiyle şekillendirilmiştir. Ardından numuneler 24 saat süre ile 75 °C'de laboratuvar tipi etüvde termal olarak kürlenmiştir. Sonuç olarak, standart bünyeye kıyasla kuvars ve metakaolen içeren numunelerde yoğunluklarda artış tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak toplam porozite değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Eğme ve basma mukavemet değerlerinde de standart bünyeye kıyasla artış olmuştur.

#### Anahtar Kelimeler

“Kuvars, Metakaolen, jeopolimerizasyon, mikroyapı”

#### Abstract

In this study, it was investigated that the effect of quartz and metakaolinite on microstructural properties of geopolymer materials. Fly ash (Soma Thermal power plant, Manisa), sodium silicate (SS) and sodium hydroxide were used for the production of samples. The prepared mortars were formed by vibration method in steel molds of 280 mm x 70 mm x 70 mm. After that, the samples were thermally cured at 75 ° C for 24 hours. As a result, there was an increase in the density of the samples containing quartz and metakaolinite compared to the standard sample. Accordingly, a decrease in total porosity values was determined. The bending and compression strength values also increased compared to the standard sample.

#### Key Words

“Quartz, metakaolinite, geopolymerization, microstructure”

## 1. GİRİŞ

Uçucu kül ve metakaolen gibi inorganik malzemelerin sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), sodyum hidroksit ( $\text{NaOH}$ ) ve potasyum hidroksit ( $\text{KOH}$ ) çözeltilerinin karışımından elde edilen malzemelere jeopolimer denir. Yüksek oranda silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ve kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ) içeren uçucu kül, termik santrallerdeki kömürün yanması sonucu baca atığı olarak elde edilir. Silika ve alüminanın alkali çözeltiler ile tepkimeye girmesi neticesinde (jeopolimerizasyon) jeopolimer malzeme üretimi sağlanır. Jeopolimerizasyon işleminden sonra kalıp içerisinde şekillendirilmiş harca yaklaşık 40 ile 100°C arasında, 2 ila 72 saat süre ile termal kür işlemi uygulanmaktadır. Son zamanlarda jeopolimer malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi amacı ile mevcut kompozisyonlara alternatif katkı malzemelerinin ilavesi, farklı alkalilerin kullanımı ve sinterlenme işlemi gibi birçok çalışma yapılmıştır (Davidovits, (1991), Duxson ve arkadaşları (2007), Palomo ve arkadaşları (1999), Li ve arkadaşları (2005), Swanepoel ve arkadaşları (2002), Koç ve Zeybek (2014).

Yip ve arkadaşları (2008) tarafından yapılan çalışmalarında kalsiyum içeren minerallerin kullanımı ile jeopolimer malzemelerin özellikleri yüksek oranda artış göstermiştir. Jaarsveld ve arkadaşları (1999) ile Zhaohui ve Yunping (2001) çalışmalarında jeopolimerlerin kısa sürede dayanım kazanmaları, dış etkilere dayanıklılıkları, düşük ısı iletkenlikleri ve yüksek hacim stabilitesine sahip olmalarını önemli avantajları arasında göstermişlerdir. Cioffi ve arkadaşları (2003) jeopolimerlerin zararlı atık stabilizasyonunda da başarıyla kullanılabileceğini anlatmışlardır. Topçu ve Canbaz (2008) ile Topçu ve Toprak (2008) yaptıkları çalışmalarda silis ve alüminalı endüstriyel atıklar ve alkali aktivasyonu ile üretilen harçların, çimento harçlarına göre daha hafif ve dayanıklı olduklarını göstermişlerdir.

Literatür araştırmalarından elde edilen bilgiler doğrultusunda birçok çalışmada mikroyapısal özellikler üzerinde geniş çaplı olarak bahsedilmediği tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada kuvars ve metakaolenin jeopolimer malzemeler üzerine hem mekanik hemde mikroyapısal özellikleri araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Jeopolimer malzeme eldesinde kullanılan uçucu kül Soma termik santralinden temin edilmiştir. Metakaolen, Kaolin Endüstriyel Mineraller San. ve Tic. A.Ş. den sağlanmıştır. Uçucu kül, metakaolen,  $\text{NaOH}$  ve sodyum silikat belirli oranlarda karıştırılarak numuneler hazırlanmıştır (D1, D2 ve D3). Standart bünye uçucu kül,  $\text{NaOH}$ , sodyum silikat ve artan oranlarda kuvars içermektedir. Yapılan bu çalışmada su ilavesi işlenebilirliği artırmak amacı ile kullanılmıştır. Hazırlanan harçlar 280 mm x 70 mm x 70 mm'lik çelik kalıplarda ve vibrasyon yöntemiyle şekillendirilmiştir. Ardından numuneler 24 saat süre ile 75 °C'de laboratuvar tipi etüvde termal olarak kürlenmiştir. Elde edilen numunelerin fiziksel ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Numunelerin eğme ve basma dayanımları, Kırıkkale Üniversitesi Makina Mühendisliği laboratuvarlarında Instron 5900 marka mukavemet cihazı ile yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin Rigaku Rint marka XRD cihazı kullanarak x ışını difraksiyon analizleri saniyede 0.02° hızda, 5° ile 55° desen aralığında çekilmiştir (Seramik araştırma Merkezi, Eskişehir). Taramalı elektron mikroskobu (Quanta 450 field emission) kullanarak yapılan mikroyapı analizleride Bülent Ecevit Üniversitesi Araştırma Merkezinde yapılmıştır. Numunelerin teorik yoğunlukları Kırıkkale Üniversitesi ısı laboratuvarındaki Quantachrome Ultra Pycnometer marka piknometre ile ölçülmüştür. Su emme ve bulk yoğunluklar arşimet yöntemi kullanarak tespit edilmiştir.

### 2.1. Hammadde kimyasal analizleri ve fiziksel özellikler

Jeopolimer eldesinde kullanılan uçucu kül, metakaolen ve kuvars hammaddelerine ait kimyasal analizler Tablo 1 de verilmiştir. Uçucu kül fiziksel özellikleri Tablo 2 de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde Soma termik santralinden temin edilen uçucu külün yüksek oranda  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiO}_2$  içerdiği tespit edilmiştir. Kaolin A.Ş. firmasından temin edilen Metakaolen hammaddesinde yüksek oranda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiO}_2$  içerdiği tespit edilmiştir. Kuvarsın yüksek oranda saflığı sahip olduğu görülmektedir.

**Tablo 1.** Hammadde kimyasal analizleri

	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{TiO}_2$	LOI	$\text{SO}_3$	$\text{MgO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	Others
<b>Uçucu Kül</b>	22.8	34.9	0.39	1.2	5.34	27.3	0.64	3.0	3.4	1.75	0.1	-
<b>Metakaolen</b>	40.23	56.17	0.24	0.51	0.85	0.19	0.55	1.1	-	0.16		2.9
<b>Kuvars</b>	0.73	97.6	0.01	-	0.18	0.10	0.03	0.4	-	-		

**Tablo 2.** Physical Properties of fly ash

	Tane boyutu ( $d_{50}$ ) ( $\mu\text{m}$ )	Yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Spesifik yüzey alanı ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	pH
Uçucu Kül	70	2.04	0.200	11.9
Sodyum silikat		1.42		12.5

## 2.2. Teknolojik özellikler

Numunelere ait su emme, eğme ve basma mukavemetleri, gözeneklilik ve yığın yoğunlukları Tablo 3 sunulmuştur. Teknolojik özellikler incelendiğinde artan oranlarda kuvar ilavesi ile numunelerin yığı yoğunlukları artmıştır. Yığın yoğunluklarının artması sonucunda da su emme değerleri azalmıştır. Bu duruma paralel olarak toplam porozite değerleride azalmıştır. Kuvars ilavesi ile beraber eğme ve basma mukavemetleri standart bünyeye kıyasla artmıştır. Yalnız D3 numunesinin eğme ve basma mukavemet değerleri standart bünyeden yüksek olmasına rağmen D1 ve D2 numunesine kıyasla düşmüştür. Bu durum yüksek oranda kuvars ilavesinin jeopolimerleşme reaksiyonları üzerinde D1 ve D2 bünyesine nazaran olumsuz yönde etki yaptığını düşündürmektedir. Şekil 1 de XRD analizleride bu durumu desteklemektedir. D3 numunesine ait XRD grafiğinde jeopolimerleşme neticesinde ortaya çıkan hidrosodalit ve polisilat amorf yapı net şekilde görülememektedir. Bu da yüksek oranda kuvars ilavesinin jeopolimerleşme üzerine olumsuz etki yaptığını desteklemektedir.

Numune	Yığın yoğunluğu ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Su emme (%)	Eğme dayanımı (Mpa)	Basma dayanımı (Mpa)	Kapalı porozite (%)	Açık porozite (%)	Toplam Porozite (%)
STD	1.27	31.89	2.134	11.06	6.47	40.55	47.02
D1	1.37	24.57	3.430	15.54	3.49	33.76	37.25
D2	1.53	18.46	4.400	17.70	8.05	28.39	36.44
D3	1.62	17.20	2.686	14.86	9.47	27.97	37.45

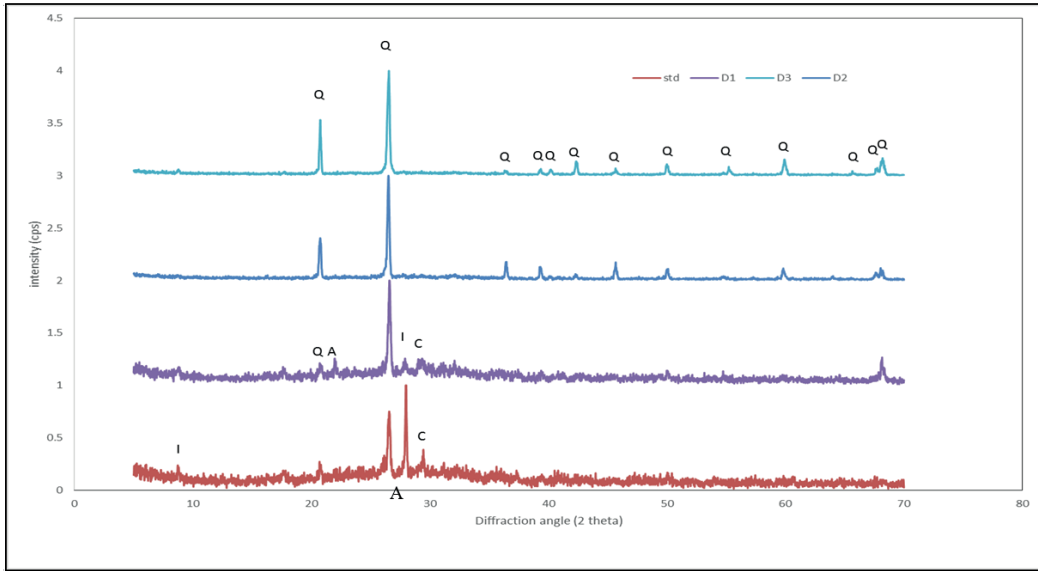
## 2.3. Mikroyapı özellikleri

### 2.3.1. XRD analizi

Standart, D1, D2 ve D3 numunelerine ait X ışınları difraksiyon analizi sonucu Şekil 1 de verilmiştir. Grafik incelendiğinde jeopolimerleşme reaksiyonu neticesinde bütün bünyelerde kuvars fazının yanında reaksiyonlar sonucunda oluşmuş hidrate kalsiyum silikat ve hidroksi alüminyum silikat (feldispatoit) fazları tespit edilmiştir.

Xu ve arkadaları (2000) nın yaptıkları çalışmada gösterdikleri gibi jeopolimerizasyon bir ekzotermik kimyasal prosesdir ve yüksek alkali ortamda moleküllerin çözünme, taşınma, yönelme ve polikondensasyon hareketlerini kapsar. Jeopolimerleşme ısı işlem görmüş kil (metakaolen) içinde bulunan alüminatlar ile silikatların oksijen atomu elektronlarını paylaşması ile kovalent bağlı bileşik oluşturması sentezine dayanmaktadır. Jeopolimer oluşumunda kütleme sıcaklıklarında kaolin, alkali NaOH (sodyum hidroksit) ile reaksiyona girerek polikondensasyona uğrar, oluşan ürün tektoalüminosilikat (feldispatoit) ve hidroksisodalittir. Hidrosodalit ve polisilatlar heksagonal üç boyutlu molekül dizilimindedir. Bir başka deyişle hidrotermal polikondensasyon sonucunda içindeki suyu hem kimyasal hem de fiziksel yollarla vererek (dehidratasyon+dehidrasyon) zeolit kayaçlarına benzer tanecik yapısına ulaşan, ancak zeolit kristallerinden farklı olarak amorf üç boyutlu heksagonal moleküler bağ yapıda olan alüminosilikat jeopolimerdir. Hidrosodalit ve polisilatların oluşumu neticesinde görülen amorf yapı Şekil de STD ve D1 numunesinde net bir şekilde tespit edilmiştir.

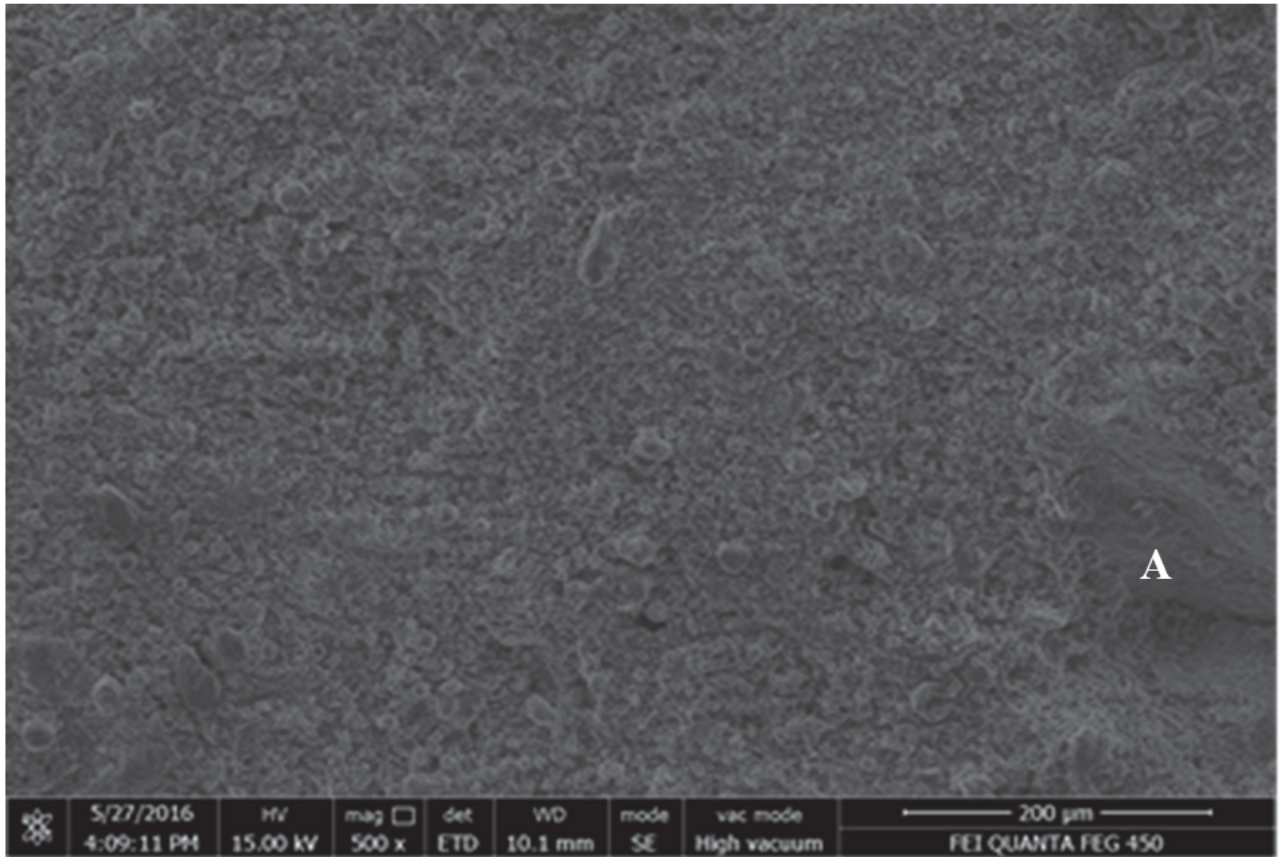




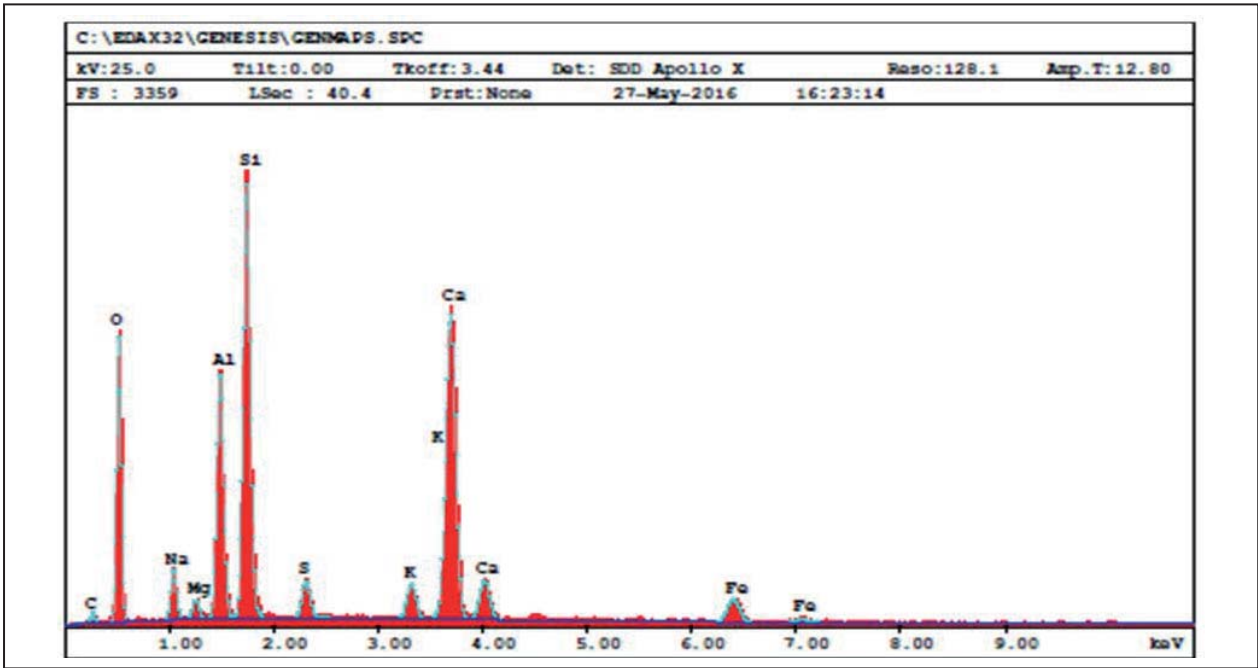
Şekil.1. Numunelere ait X-ışınları difraksiyon paterni; Q: kuvars, C: hidrate kalsiyum silikat, I: hidroksi Alüminyum silikat, A: Amorf faz

### 2.3.2. SEM-EDX analizi

Numunelere ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 2, Şekil 4, Şekil 6 ve Şekil 8 de sunulmuştur. EDX analizleri sonuçları da Şekil 3, Şekil 5, Şekil 7 ve Şekil 9 da verilmiştir. STD bünyeye ait SEM ve EDX görüntüleri incelendiğinde; jeopolimer yapı hem homojen hemde yoğun bir yapı oluşturmuştur. XRD analizinde açıklandığı üzere hidrosodalit ve polisialat hegzagonal üç boyutlu molekül dizilimlerinin hidrotermal polikondensasyonu sonucunda içindeki suyu hem kimyasal hem de fiziksel yollarla vererek oluşturduğu amorf (A) üç boyutlu hegzagonal moleküler alumino silikat jeopolimer bağ yapısı görülmektedir. EDX analizi sonucuna göre Std bünyesi ana jeopolimer ağ yapısını oluşturan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içermektedir.

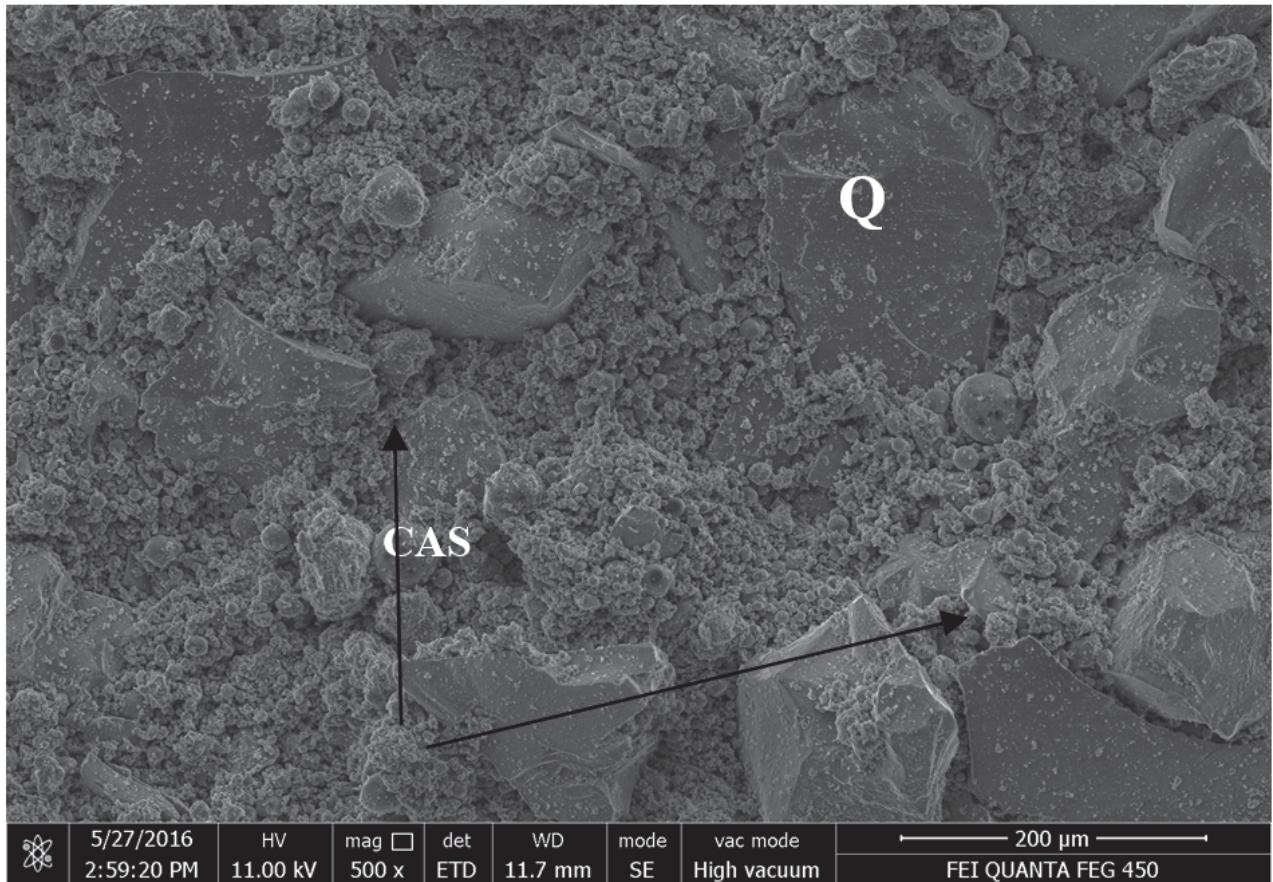


Şekil 2. STD numunesine ait mikroyapı görüntüsü, A: jeopolimerik amorf yapı



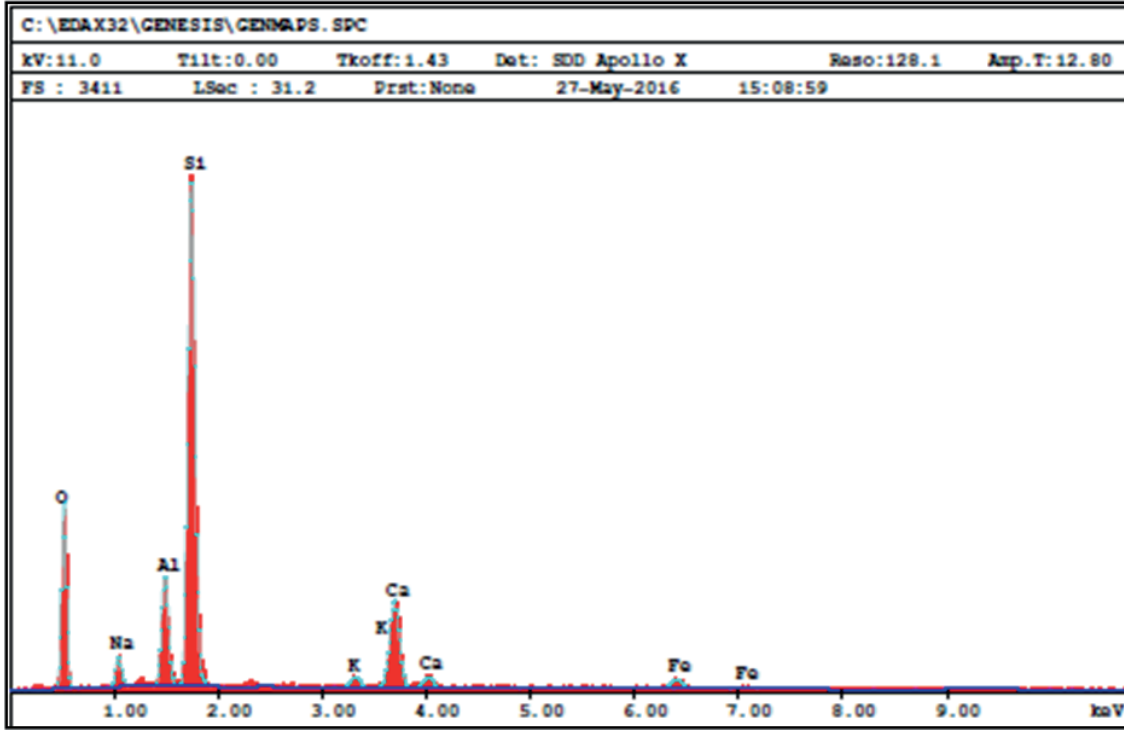
Şekil 3. STD numunesine ait EDX analizi sonucu

D1 numunesine ait SEM ve EDX analizleri incelendiğinde yoğun ve homojen Si-Al amorf jeopolimerik makriks yapı içerisinde gömülü olarak kuvars taneleri ve ayrıca kullanılan uçucu kül den yüksek oranda gelen CaO in oluşturduğu hidrate kalsiyum alumina silikat fazları görülmektedir. . EDX analizi sonucuna göre D1 bünyesinde ana jeopolimer ağ yapısını oluşturan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içermektedir



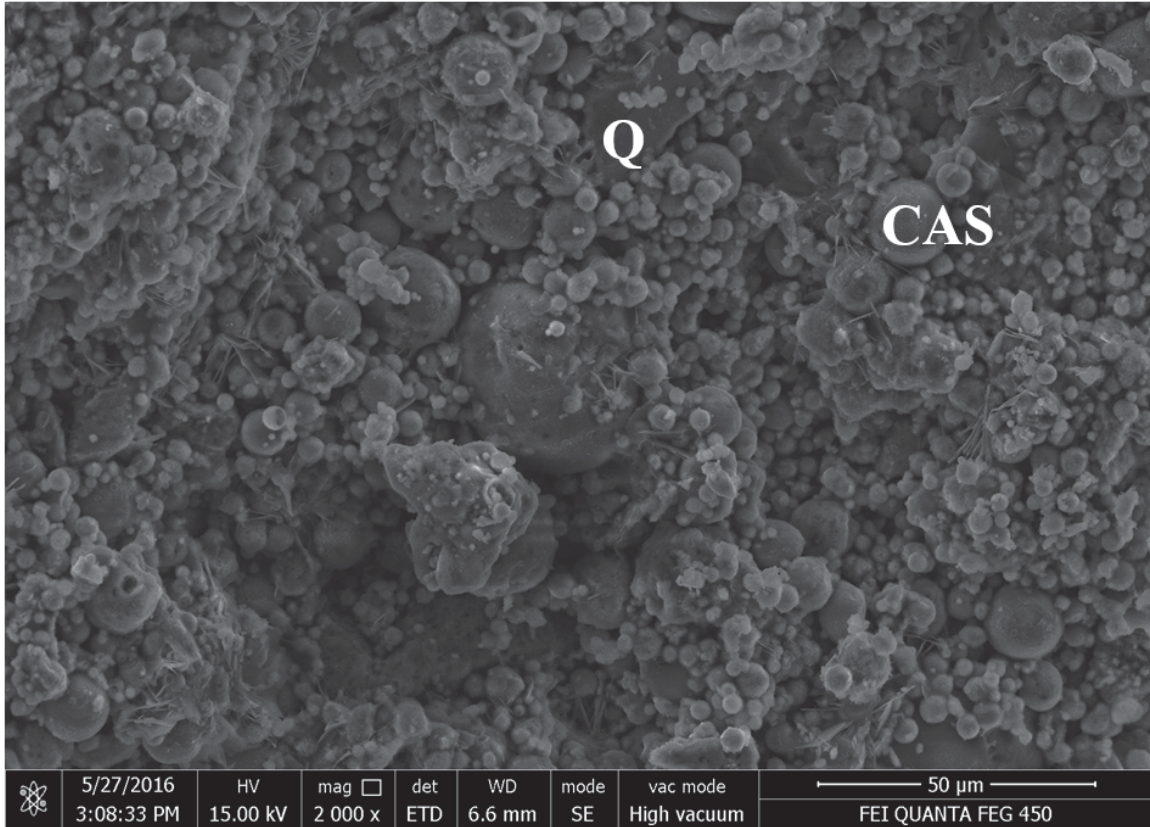
Şekil 4. D1 numunesine ait mikroyapı görüntüsü, Q: kuvars, CAS: hidrate kalsiyum alumina silikat



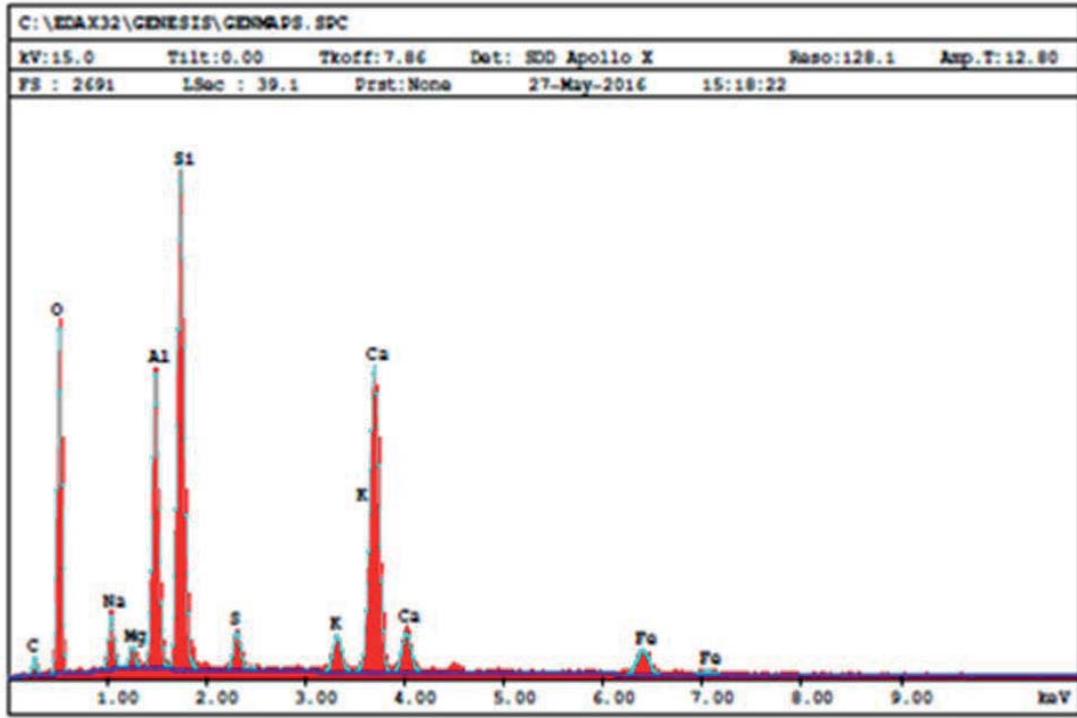


Şekil 5. D1 numunesine ait EDX analizi sonucu

Şekil 6 ve Şekil 7 de D2 numunesine ait SEM ve EDX analizleri incelendiğinde D1 numunesinde tespit edildiği gibi yoğun ve homojen Si-Al amorf jeopolimerik makriks yapı içerisinde gömülü olarak kuvars taneleri ve ayrıca kullanılan uçucu kül den yüksek oranda gelen CaO in oluşturduğu hidrate kalsiyum alumina silikat fazları görülmektedir. EDX analizi sonucuna göre D2 bünyesi de ana jeopolimer ağ yapısını oluşturan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO, MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içermektedir.

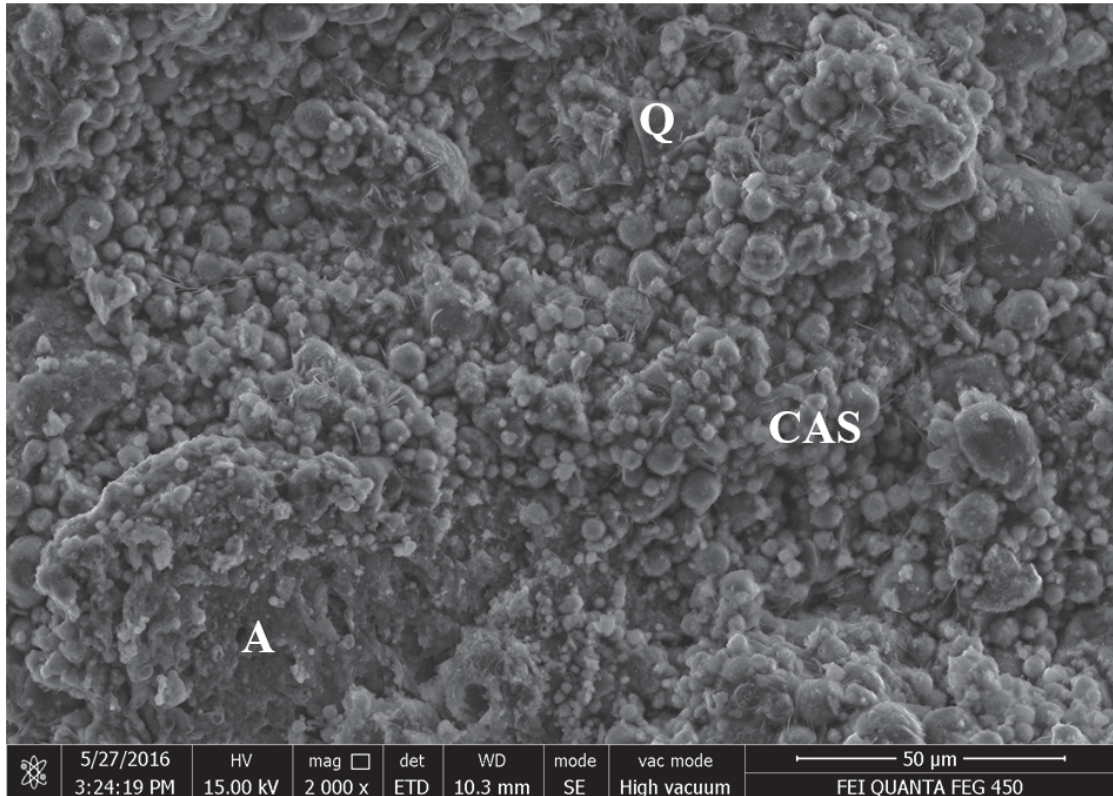


Şekil 6. D2 numunesine ait mikroyapı görüntüsü, Q: kuvars, CAS: hidrate kalsiyum alumina silikat

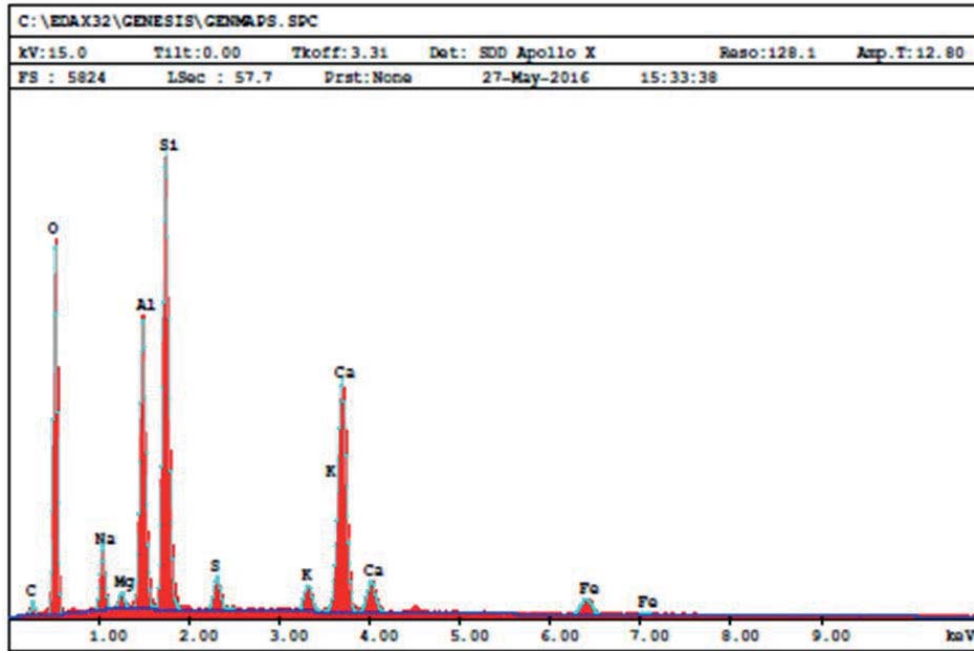


Şekil 7. D2 numunesine ait EDX analizi sonucu

Şekil 8 ve Şekil 9 da D3 numunesine ait SEM ve EDX analizleri incelendiğinde D1 ve D2 numunelerinde tespit edildiği gibi yoğun ve homojen Si-Al amorf jeopolimerik makriks yapı içerisinde gömülü olarak kuvars taneleri ve ayrıca kullanılan uçucu kül den yüksek oranda gelen CaO in oluşturduğu hidrate kalsiyum alumina silikat fazları bu bünyede de tespit edilmiştir. EDX analizi sonucuna göre D3 bünyesi de ana jeopolimer ağ yapısını oluşturan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO, MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içermektedir.



Şekil 8. D3 numunesine ait mikroyapı görüntüsü, A:jeopolimerik amorf yapı, CAS: hidrate kalsiyum alumina silikat, Q: kuvars



Şekil 9. D3 numunesine ait EDX analizi sonucu

### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kuvars ve metakaolen ilavesinin jeopolimerlerin özellikleri üzerine etksi araştırılmıştır. Malzemelerin açık, kapalı ve toplam gözenekliliği, su emmesi, görünür yoğunluğu, eğme ve basma dayanımları ve faz oluşumları belirlenmiştir.

Hazırlanan jeopolimer malzemelere kuvars ve metakaolen ilavesi ile gözeneklilik değerlerinde azalma ve buna bağlı olarakta yığın yoğunluklarında artış tespit edilmiştir. Kuvars miktarındaki artış ile gözeneklilik ve su emme değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Yığın yoğunluğunda ki artışa bağlı olarakta eğme ve basma mukavmetleri standart bünyeye kıyasla artmıştır. Faz analizleri sonucunda da hidrosodalit ve polisilatların oluşumu neticesinde amorf üç boyutlu hegzagonal moleküler bağ yapıda olan alumino silikat jeopolimer yapılar tespit edilmiştir. Uçucu külden gelen yüksek orandaki CaO jeoplimer reaksiyonları esnasında hidrate kasliyum alumina silikat fazlarını oluşturmuştur. Sonuç olarak bu çalışma göstermiştir ki kuvars ve metakolen ilavesi jeoplimer oluşum rekasiyonlarına ve nihai ürünün teknolojik özelliklerine önemli derecede katkı sağlamıştır.

### 4. KAYNAKLAR

Cioffi, R., Maffucci, L., Santoro, L., (2003). Optimization of geopolymer synthesis by calcination and polycondensation of a kaolinitic residue”, Resources Conservation and Recycling, Vol. 40, pp. 27-38

Davidovits, J., (1991). Geopolymers – inorganic polymeric new materials, J Therm Anal 37, 1633–1656

Duxson, P, Provis, JL, Lukey, G.C., Van Deventer, J.S.J., (2007). The role of inorganic polymer technology in the development of ‘Green concrete, Cement Concrete Research, 37(12), 1590–1597

Jaarsveld, J.G.S., Deventer, J.S.J., (1999). Effect of the alkali metal activator on the properties of fly ash based geopolymers, Indian Engineering of Chemistry Research, Vol. 38, No.10 pp. 3932-3941

Koç, M., Zeybek, M.S., (2014). Kalsit ilaveli jeopolimer malzemeleri sinterlemenin gözenekliliğe etkileri, C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 10.1, 25– 31

Li, Z., Zhang, Y., Zhou, X., (2005). Short Fiber Reinforced Geopolymer Composites Manufactured by Extrusion, Journal of Materials in Civil Engineering,17,624-631,

Palomo, A, Grutzeck, M.W., Blanco, M.T., (1999). Alkali-activated fly ashes, a cement for the future, Cement and Concrete Research, 29:1323–1329,

Swanepoel, J.C., Strydom, C.A., (2002). Utilisation of fly ash in a geopolymeric material, *Applied Geochemistry*, 17, 1143-1148

Topçu, İ.B., Canbaz, M., (2008). Alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürufu harçlarda donma çözülme, *ESOGÜ Müh-Mim Fak. Dergisi*, Cilt 21, No. 2, ss. 1-16

Topçu, İ.B., Toprak, U., (2008). Alkalilerle Aktive Edilen Uçucu Külle Hafif Tuğla Üretimi, 4. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, 12-14 Kasım 2008, İstanbul, Türkiye, ss. 38-45.

Xu, H., Van Deventer, J.S.J., (2000). The geopolymerisation of aluminosilicate minerals, *Int. J. Miner. Process.* 59, 247-266

Yip, C. K., Provis, J. L., Lukey, G. C., Van Deventer, J.S.J., (2008). Carbonate mineral addition to metakaolin-based geopolymers, *Cement & Concrete Composites* 30, 979-985

Zhaohui, X., Yunping, X., (2001). Hardening mechanisms of an alkaline activated class F fly ash, *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, pp. 1245-1249





## Maden Ocaklarını Gerçek Zamanlı İzleme ve Görüntüleme Yazılım Uygulaması

### Real-Time Tracking and Monitoring Software Application for Underground Mines

Atilla ERGÜZEN\*<sup>1</sup>, Halil İbrahim LÜY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 18/01/2017

Kabul/Accepted: 16/04/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Dünyada madencilik hem ekonomik açıdan, hem de yaşam açısından çok önemli bir iş koludur. Yalnız madencilik işinin yer altında yapılmasından dolayı iş güvenliği açısından ciddi riskler taşımaktadır. Madenlerde oluşan iş kazalarını ve oluşan kazalardan sonra can kaybını azaltmak için teknolojik imkanlar yoğun şekilde kullanılmaktadır. Bu makalede de maden içerisine belli yerlere konan nem, sıcaklık ve gaz alıcılarıyla kazaların önceden önlenmesi ve madenciye yerleştirilen verici cihazlarla da maden kazalarından sonra madencinin konumunu belirlemek için tasarlanmış bir sistem anlatılmaktadır. Tasarlanan sistemin yazılım uygulaması yapılmış ve donanımsal hiç bir cihaz kullanılmamıştır. Sistem gerekli olan donanım verilerini sanal olarak oluşturulan rasgele veri kümesinden almıştır. Makalede anlatılacak sistem bir web uygulamasıdır. Bu yazılım uygulaması her tipten kullanıcının kullanıp, anlayabileceği şekilde basit olarak tasarlanmıştır. Kullanıcılara web ara yüzü üzerinden maden için yeni hücreler ekleyip silme imkanı verilmiştir. Bu sayede kullanıcılar maden haritalarını istedikleri şekilde oluşturabilmektedirler. Aynı zamanda yazılım uygulaması sayesinde kullanıcılar tasarladıkları maden üzerinden madencilerin konumunu anlık olarak 3 boyutlu harita üzerinde görebilmektedirler.

#### Anahtar Kelimeler

“Görüntüleme, maden, güvenlik, sistem, 3D harita çizimi”

#### Abstract

Mining is an important business area in both economical and vital aspects. However, it has a high level risk of working safety as the working area is underground. Technologies are intensely used to reduce the number of accidents and deaths in mining sites. In this study, a new system is proposed to prevent accidents with the help of sensors (humidity, temperature and gas) and specify the location of the miners with transmitter devices in case of an accident. A software application was developed for the proposed system, but no hardware device was used. The necessary data expected to be received from hardware devices was generated from a random data set. The mentioned system in this study is a web application. This software application was designed to be easy to use for every type of users. Via a web interface the users are able to add or remove cells which form the mine so that users can create their own mine map. Additionally, the users can view the 3D location of the miners instantly with the application.

#### Key Words

“Monitoring, mine, safety, system, creating 3D map”

## 1. GİRİŞ

Dünyada madencilik sektöründe yaklaşık 30 milyon insanın çalıştığı tahmin edilmektedir. Madencilik doğası gereği kaza ve ölüm olaylarının en çok gerçekleştiği sektörlerden biridir (İphar, 2010). Dünyada çalışanların sadece %1'i madenlerde çalışıyor iken ciddi kazaların %8'i maden ocaklarında meydana gelmektedir (Tanır, 2009). 2004-2011 yılları arasında Türkiye'de ki madenlerde iş kazası olma riski diğer sektörler göre 20 kat daha fazladır. Türkiye madenlerdeki iş kazası sayısı bakımından Avrupa'da birinci dünyada ise üçüncü sıradadır. Bu iş kazalarının sosyal güvenlik sistemine maliyeti yaklaşık 4 milyar TL'dir (Yılmaz, 2013).

Sanayi ve teknolojiye ki tüm gelişmelere rağmen iş kazalarını tamamen önleyip sıfıra indirmek mümkün değildir. İş kazalarının kaybı ekonomik olmaktan ziyade geri döndürülemez olan insan hayatıdır. Tüm iş kollarında meydana gelen kazaların ölüm oranları karşılaştırıldığında kömür madenlerinde ki ölümlü iş kazalarının daha çok olduğu görülmektedir (Mallı vd., 2014).

Bahsedilen sebeplerden dolayı, günümüzde madencilikte bilgisayar teknolojilerinin kullanılması şarttır (Efe, 2013). Dolayısıyla neredeyse tüm ülkelerde madencilik yer altı gözlem ve izleme sistemleri madenlerin emniyetini sağlamak amacıyla yasalar ile uygulamaya konulmuştur (Kocal vd., 2002).

## 2. MADENCİLİKTE TEKNOLOJİ

90'lı yılların ikinci yarısından sonra bilgisayar ortamında 3 boyutlu modellerin yapılabilir hale gelmesi maden sektöründe bilgisayar teknolojisinin kullanımını arttırmıştır (Efe, 2013). Bunun yanında mikro elektronikteki gelişmeler değişik tipte birçok alıcı üretimine ve bu alıcılardan alınan verilerin hızlı şekilde iletilmesine olanak sağlamıştır. Bu teknolojik gelişmeler bilgisayarlı izleme sistemlerinin madencilik sektörüne girmesini hızlandırmıştır (Mallı vd., 2014).

Bu sistemler genel olarak emniyetli bir çalışma ortamı sağlamak amacıyla üretimi sağlayan makinaları ve ortamı izleyerek bilgi toplayıp merkeze iletirler. Merkeze iletilen bilgi analiz edildikten sonra emniyeti arttıracak sağlıklı kararlar alınmasına yardımcı olur.

Bu sistemlerin genel olarak temel çalışma ilkesini şu şekilde özetleyebiliriz.

- Algılayıcılar: İçinde buldukları ortamın fiziksel şartlarını sürekli ve otomatik olarak ölçerler. Havanın sıcaklığı, nemi, ortamda bulunan gazların ölçülmesi gibi işlemlerde kullanılırlar.
- Ara izleme İstasyonu: Bir ya da birkaç algılayıcıdan aldığı sinyalleri kendisi gibi bir ara algılayıcıya ya da merkez istasyona gönderirler.
- Merkez istasyon: Ara ağ elemanlarından aldığı verilerin operatör için görüntülenmesini sağlar. Genel olarak ana bilgisayarın yanı sıra yazıcı ve ekranlardan oluşmaktadır.

### 2.1. Maden İzleme Sistemi

Teknolojiye ki gelişmeler madencilik sektöründe ki iş kazalarının nispeten önlenmesini ve ekonomik kazancın artmasını sağlamıştır. Yalnız yine de madencilik sektöründe iş güvenliğini arttırmak için daha fazla sisteme ihtiyaç vardır. Bunların en önemlilerinden bir tanesi kazalardan sonra madencinin konumunu belirleyebilmek için ihtiyaç duyulan madenci izleme sistemleridir. Günümüzde çok fazla izleme sistemi geliştirilmiş olmasına rağmen sıradan bir kullanıcının dahi anlayabileceği, kullanabileceği maden izleme sistemleri piyasada bulunmamaktadır veya çok azdır. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda üç boyutlu bir madenci izleme sistemine rastlanmamıştır. Bu makale bu açığı kapatacağı düşünülen bir yazılım sistemi üzerine yazılmıştır. Madenci izleme sisteminin sadece yazılım tarafı yapılmış, donanımdan alınması gereken konum ve alıcı verileri ise gene kod yazılarak sanal olarak oluşturulmuştur.

## 3. UYGULAMADA KULLANILAN TEKNOLOJİLER

Sistem yazılımı yapılırken aşağıdaki teknolojiler kullanılmıştır.

### 3.1. C#, Asp.Net, Asp.Net MVC

C# Microsoft tarafından geliştirilen yeni nesil bir programlama dilidir. C# dili ile Windows ortamında çalışabilecek her türlü Windows form uygulaması, web uygulaması ve Windows ve web servis yazılabilir. C# nesneye yönelik bir programlama dilidir ve birçok alanda Java programlama dilini kendisine örnek alır. C# dilinin kullanılabilmesi için .Net Framework' ün kurulu olması gerekir (Sharp, 2015).



Asp.Net Microsoft'un web için geliştirmiş olduğu bir teknolojidir. Sürükle bırak mantığıyla masaüstü bir uygulama geliştirilmesine web mantığından biraz uzakta daha hızlı bir şekilde web uygulamaları geliştirmenize olanak verir.

Asp.Net MVC ise Asp.Net iskeleti üzerine Model-View-Controller rollerinin ayrıştırılarak geliştirilmiş tasarım deseni üzerine kurulmuş bir teknolojidir. Bu tasarım deseninde 3 adet katman bulunmaktadır. Veri tabanı işlemlerinin yapıldığı katman "Model", görünüm işlemlerinin yapıldığı katman "View", bu iki katman arasında bilgi alışverişinden sorumlu katman ise "Controller" olarak adlandırılmaktadır (Galloway vd., 2014).

### 3.2. Asp.Net SignalR

Web uygulamaları, istemci sunucu mimarisine göre çalışan sistemlerdir. Web uygulamalarının çalışmasını özetleyecek olursak istemciden gelen isteğe göre sunucu üzerinde işlemler yapılarak gerekli sayfa oluşturulur ve istek yapan istemciye oluşturulan sayfa gönderilir. Bu çalışma prensibine göre istemciden herhangi bir istek olmadan sunucunun herhangi bir veri göndermesi mümkün değildir. Yani web uygulamaları tamamen istemci sunucu mimarisine göre çalışır. Bu durumda yapacağımız herhangi bir uygulama için istemciden istek gelmeden sunucudan doğrudan veri göndermek istersek SignalR gibi bir Asp.Net kütüphanesi kullanmamız gerekir. Yani SignalR teknolojisi istemci isteklerinden bağımsız olarak sunucudan istemcilere veri gönderilmesi işleminde kullanılır. Bu işlemi WebSocket kullanarak yapar (Aguliar, 2014).

### 3.3. WebGL (Web Graphic Library) ve three.js

WebGL kar amacı gütmeyen bir teknoloji şirketler birliği (Khronos Group) tarafından yönetilen, web ortamında yani tarayıcı üzerinde üç boyutlu görsellikler geliştirmek için geliştirilmiş bir web teknolojisidir. WebGL, uyumlu bir web tarayıcısında herhangi bir eklenti kurmadan çalışmaktadır ve çalıştığı bilgisayarın ekran kartını kullanır. Web tarayıcılarında DOM uyumlu herhangi bir programlama dili (JavaScript, Java, Objective C) ile yazılabilmektedir. HTML ile uyumludur ve diğer HTML elementleriyle iletişime girebilir. WebGL aynı zamanda OpenGL'de kullanılan GLSL isimli Shading dilini kullanmaktadır ve sadece kendi başına dahi büyük bir programlama dilidir (Matsuda vd., 2013). Bu özellikleriyle üç boyutlu grafik dünyasında gayet ön plana çıkmaktadır.

WebGL üzerine JavaScript ile programlama geliştirmek için biraz alt seviyede bilgiye ihtiyaç vardır. Aynı zamanda yazılması gereken kodunda hatırı sayılır seviyede bir uzunluğu olacaktır.

İşte Three.js, tam da bu nokta da WebGL'in daha kolay kullanılması için ortaya çıkan WebGL tabanlı bir kütüphanedir. Three.js Nisan 2010 yılından beri geliştirilmektedir. three.js'in gelişimine katkıda bulunan 390'ın üzerinde geliştirici vardır (Dirksen, 2014).

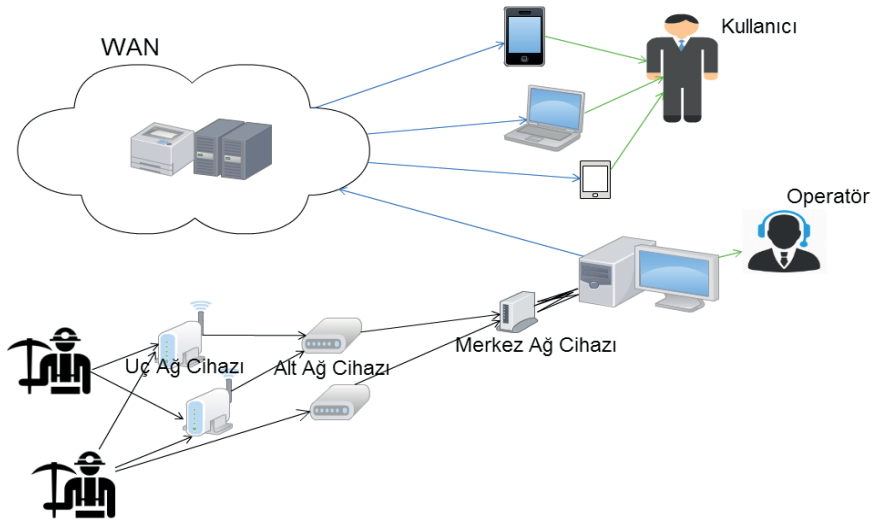
## 4. SİSTEMİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Maden endüstrisinde ki bahsedilen ihtiyaçlara binaen tasarlanan sistem temel olarak 2 bölümden oluşmaktadır.

- Alıcı verilerinin iletimi
- Madenci konumlarının iletimi

Her iki bölüm de aynı ağ altyapısını kullanarak veri toplamaktadır. Ağ yapısı şekil 1'deki gibidir.

Alıcı verilerinin iletimi : Maden ortamının sıcaklık, nem ve gaz oranları gibi alıcılar aracılığıyla okunabilen ölçüm değerlerinin iletilmesi işlemidir. Şekilden de görüldüğü gibi uç cihaz adını verdiğimiz ağın en uç noktasında çalışan cihazlar bulunmaktadır. Bu cihazlar kendisine bağlı bulunan alıcılar vasıtasıyla bulunduğu ortamdaki verileri belli aralıklarla okumaktadırlar. Daha sonra toplamış oldukları bu verileri bağlı buldukları bir üst ağ cihazına belirli bir protokolle iletmektedirler. Bu protokol ilerleyen bölümde irdelenecektir. Veri gönderdikleri bir üst ağ cihazı uç ağ cihazı veya ara ağ cihazı ismini verdiğimiz cihazlardan herhangi biri olabilir. Veriyi almış olan cihaz da kendisinin bir üstü olan ağ elemanına kendisinde toplanmış olan tüm veriyi iletir. Bu hiyerarşik yapı bu şekilde devam eder ve iletim ağının en sonunda bilgisayara bağlı olan ana alıcı cihazda tüm veri toplanmış olur.



Şekil 1. Madenci İzleme Sisteminin Çalışma Prensibi

Madenci konumunun iletimi : İkinci olarak ise madenci üzerine yerleştirilen bir verici sayesinde en uçta bulunan ağ cihazlarına madenci konumu alıcılarda anlatılmış olan hiyerarşik ağ yapısı sayesinde aktarılmış olur.

Yapıldığı düşünülen ağ mekanizmasında iletim ağı teknolojisi olarak ise ZigBee, RF, wireless ya da doğrudan kablolu ağ kullanılabilir. Bu teknolojilerden en uygun olanı düşük pil tüketimi ve olay temelli çalışma yapısı sebebiyle ZigBee'dir (Karaoğlu, 2014).

Bu makalenin ana konusu merkeze iletilmiş olan verilerin analiz edilmesi, gösterilmesi ve kullanıcıya sunulması işlemleridir. Ağ elemanları, verilerin iletimi işlemleri makalenin kapsamı dışındadır.

Operatöre donanım elemanları tarafından ulaştırılan veriler üzerinden bir web uygulaması yapılmıştır. Yapılan uygulamada madenler için harita modellemesi, anlık madenci ve alıcı verilerinin görüntülenmesi işlemleri yapılabilmektedir.

## 5. UYGULAMA

Geliştirilmiş olan uygulama temel olarak 3 parçadan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi maden haritasının çizilmesi, ikincisi çizilen harita üzerinden madenci konumlarının izlenmesi, üçüncüsü ise alıcılardan gelen verilerin izlenmesidir.

Uygulama Asp.Net MVC teknolojisi kullanılarak herhangi bir tarayıcı üzerinden kullanılabilir şekilde geliştirilmiştir. Yani bir web uygulamasıdır.

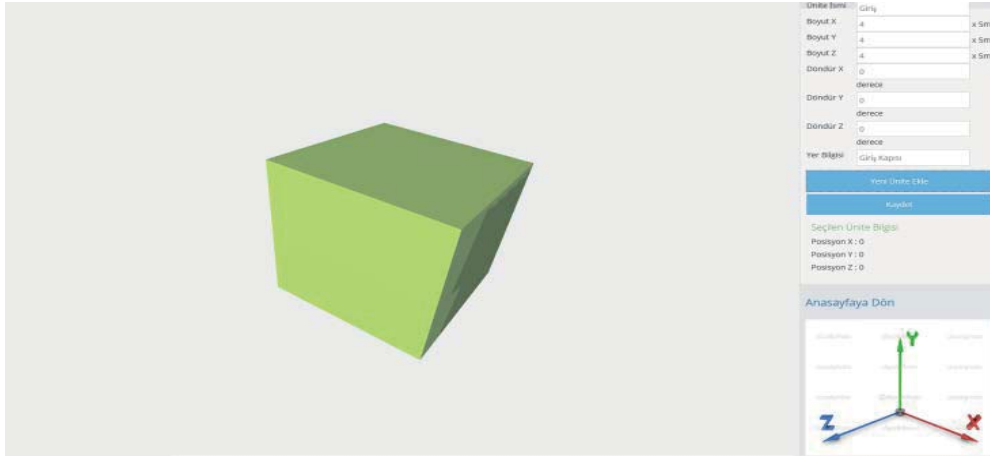
Öncelikle uygulamada donanım elemanları bulunmadığı için donanım elemanlarından gelmesi gereken veriler yazılım tarafından sanal bir verici vasıtasıyla oluşturulmuştur. Donanımın yerini alan yazılım 5 saniye aralıklarla rasgele olan madenci konum ve alıcı verileri göndermektedir.

Bu verilerin tamamı sistemde kurulu (MsSql) veri tabanına kaydedilmektedir. Veri tabanına kaydedilen veriler uygulama ara yüzünden görüntülenip analiz edilebilmektedir. Uygulama üzerinde hem alıcı hem de madenci konumları için çok detaylı şekilde sorgulama işlemi yapılabilmektedir. Madenciler isme, bulunduğu konuma ve tarih aralığına göre, alıcılar ise tarih, sıcaklık, nem ve gaz değer aralıklarına göre sorgulanabilmektedirler. Bunların haricinde uygulama üzerinden madenciler için ekleme, silme ve güncelleme işlemleri yapılabilmektedir. Uç cihazlar için ise bu ekleme, silme ve güncelleme işlemi oluşturulmuş olan harita üzerinden yapılmaktadır.

Her maden için haritanın değişeceği muhakkaktır. Dolayısıyla her bir maden için ayrı ayrı harita çizilmesi gerekmektedir. İş yükünü aza indirmek ve kullanım kolaylığını arttırmak için haritanın kullanıcı tarafından oluşturulması, çizilmesi çok daha uygundur. İşte bu ihtiyaçtan dolayı harita oluşturma işlemi uygulama içerisinde dinamik olarak yapılabilecektir. Bu makalenin konusu olan uygulama bilgisayar bilgisi çok az olan bir kullanıcının dahi harita oluşturabileceği şekilde tasarlanmıştır.

## 5.1 Harita Oluşturulması

Uygulama üzerinde haritalar neredeyse sürükle bırak mantığında çizilebilmektedir. Şekil 2’de bir cihazın harita üzerinde kapsadığı alanla eklenmesi gösterilmektedir.



Şekil 2. Madenci İzleme Sistemi Alıcı Hücresi Eklenmesi.

Öncelikle belirtilmesi gereken husus harita üzerinde ki her bir hücrenin bir uç cihaza karşılık geldiğidir. Yani harita üzerinden yeni bir hücre eklediğimiz zaman maden içerisinde de o hücre ile senkron çalışacak bir cihazı ekleme zorunluluğu vardır. Bunun tersi yapılan işlemlerde zorunludur. Yani yeni bir cihaz eklendiği zamanda harita üzerinden o cihaza senkron bir hücre eklemek gerekmektedir. Kullanımın kolaylığı açısından hücre ve cihaz isimleri aynı olmalıdır. Hücreler uygulama üzerinden Şekil 2’de görüldüğü gibi üç boyutlu olarak eklenmektedir. Bu üç boyutlu işlemleri sağlamak amacıyla bir web teknolojisi olan WebGL’in bir alt kütüphanesi olan Three.js kullanılmıştır.

Bu teknoloji sayesinde uygulamada üzerinden haritaya hücre ekleme ve silme işlemleri rahatlıkla yapılabilir. Harita üzerine eklenen her bir hücrenin bir cihaza karşılık geldiğini daha önce belirtmiştik.

Hücre ekleme işlemi sırasında eklenecek hücrenin boyutları x, y, z koordinatlarına göre belirlenir. Örneğin x koordinatında boyutu 10 metre, y koordinatında boyutu 3 metre olduğu düşünülen bir hücre Şekil 2’de ki görüntünün sağında ki sekmelerden x için 10 ve y için 3 girerek gerekli ekleme işlemini yapabilir. Burada ki boyutlar dinamik olup istenilen oranda verilebilir. Aynı zamanda eklenecek hücrelere haritaya göre istenilen açılarda döndürme işlemi de uygulanabilir. Bu döndürme işlemi gene Şekil 2’de ki ekranın sağ tarafında görünen döndürme açısı kutucukları vasıtasıyla yapılabilir.

Bunların yanında çizim işlemini kolaylaştırmak için fare hareketleriyle kameranın açısıyla oynanarak ekran döndürülebilir ve fare tekerleği kullanılarak büyütme işlemi yapılabilir.

Bu şekilde cihaz-hücreler eklenerek her kullanıcı rahat bir şekilde kendi maden haritasını çizebilir. Yani her maden için bir uzman eşliğinde bir çizim yapılmasına ya da ekstradan bir iş gücüne ihtiyaç yoktur.

## 5.2. Cihazlardan Gelen Madenci Konumlarının ve Alıcı Verilerinin Görüntülenmesi

Var olan, yani bir önceki başlıkta anlatıldığı gibi maden haritası çizildikten sonra madencilerin konumu çizilmiş olan bu harita üzerinden izlenebilmektedir. Madencilerin konumu üç boyutlu olarak görüntülenmektedir ve şu şekilde çalışmaktadır. Öncelikle uç cihazlar kendisine sinyal gönderen madenci cihazlarından aldıkları verileri ağ sistemi sayesinde bilgisayara ulaştırır. Veri iletimi belli bir protokol vasıtasıyla yapılır. Bu protokol Tablo 1’de ki gibidir.

**Tablo 1.** Madenci Konum Bilgileri İletim Protokolü.

	Veri Formatı	Madenci Bilgisi
Paket türü	9	1
Uç cihaz no	A99	E15
Madenci no	99999	34567
Üst cihaz no	A99	E14
Paketlenmiş veri	9A999999A99	1E1534567E14

Tablo 1’ de görüldüğü gibi madenci konum bilgisinde toplam 12 byte’den oluşan bir byte dizisi bulunmaktadır. Bilgisayara ulaşan 12 byte’lık veriyi alan uygulamanın öncelikle bu veriyi çözümlemesi gerekmektedir. Çözümleme işlemi için ilk başta gelen verinin ilk byte’ına bakılır. İlk byte yani paket türü 1 olduğu için gelen paketin 12 byte’dan oluştuğu ve madenci konum bilgilerini içerdiğini anlaşılmaktadır. Daha sonra paketin içinde 2. byte, 3. byte ve 4. byte’tan oluşan toplam 3 byte’lık diziyeye bakılarak madenci konum bilgisi tespit edilir. Bu konum bilgisi verisi önce de anlatılan maden haritası çizilmesi işleminde maden hücresi-cihazı eklenirken kullanılan verinin aynıdır. Yani veri hangi hücreden-cihazdan geliyorsa o bilgiyi içerir. Paketteki sonraki 5 byte madencinin numarasını, en sonda bulunan 3 byte ise verinin hangi yolla geldiği yani bir üst cihaz numarasının ne olduğu bilgisini ulaştırır. Veri dizisi içerisinden madenci numarası alınarak harita üzerinde uç cihazla daha önceden ilişkilendirilmiş olan hücrede madencinin görüntülenmesi sağlanır. Harita üzerinde ki madenciler Şekil 3’teki gibi birer pembe nokta olarak görüntülenmektedir. Noktanın üzerine tıkladığında madencinin detaylı bilgileri ekranın sağ tarafında görüntülenebilmektedir. Bu bilgiler madencinin kimlik bilgileri ve bulunduğu noktanın tam koordinat bilgilerinden oluşmaktadır. Bunların yanında harita üzerinde daha etkin görüntüleme işlemi yapılabilmesi için fare kullanılarak ekranda döndürme işlemleri veya büyütme işlemleri yapılabilir.

**Şekil 3.** Uygulamanın 500 Madenci İçin Anlık Görüntüsü.

Harita üzerinde ki herhangi bir hücreye tıkladığı zaman da hücrenin detaylı verisine de ulaşılabilir. Hücrenin detaylı bilgisi aynı madenci özellikleri gibi haritanın sağ tarafında görüntülenir. Bu bilgiler hücrenin boyutları, başlangıç koordinatları, döndürülme açısı ve varsa hücre için yapılan açıklamadan oluşur.

Cihazlardan gelen alıcı verilerinin kaydedilmesi ve izlenmesi için ise Tablo 2’de ki protokol kullanılmıştır.

**Tablo 2.** Madenci Alıcı Bilgileri İletim Protokolü.

	Veri Formatı	Alıcı Bilgisi
Paket türü	9	2
Uç cihaz no	A99	E15
1. Alıcı	A99	C36
2. Alıcı	A99	N54
3. Alıcı	A99	M28
4. Alıcı	A99	T38
5. Alıcı	A99	H43
6. Alıcı	A99	L47
Paketlenmiş veri	9A99A99A99A99A99A99A99A99 = 25 Byte	2E15C36N54M28T38H43L47E14

Bilgisayara ulaşan bu verinin ilk başta ilk byte'ına bakılarak gene çözümleme işlemi yapılır ve alıcı bilgisi mi yoksa madenci konum bilgisi mi olduğu tespit edilir.

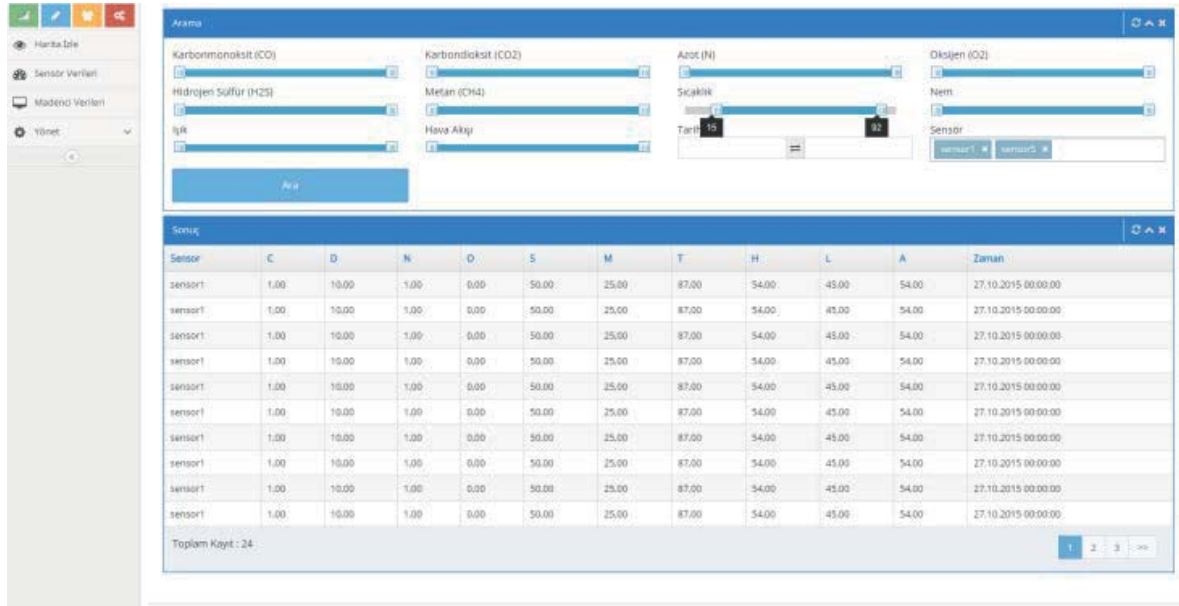
Tablo 2'den de görüldüğü gibi alıcı paketi için paket türü 2'dir. İlk byte'ı 2 olan verinin alıcı bilgilerinden oluştuğu anlaşılır ve ona göre işlem yapılmaya başlanır. Paketten görüldüğü üzere paket boyutunu büyütmemek için bir uç cihaza en fazla 6 alıcı bağlanabileceği varsayılmıştır. Yapılan araştırmalar her maden türü için altı adet alıcının yeterli olduğunu göstermiştir. Burada alıcı verileri tek bir paket içerisinde birden fazla alıcı verisinin olduğu bir paket şeklinde düzenlenmiştir ve her alıcı verisi 3 byte'lık veri dizisinden oluşmaktadır. Bu 3 byte'lık alıcı dizisi de ayrıştırılır ve alıcı tipi ve alıcı verisi öğrenilir. Burada bu 3 byte'lık dizi içerisinde ki ilk byte alıcı tipine, diğer 2 byte ise alıcının gönderdiği veri için ayrılmıştır. Daha sonra bu ayrıştırılan veriler veri tabanında alıcı türüne göre ilgili alanlara kaydedilir. Kaydedilmiş olan alıcı verileri üzerinde arama ve görüntüleme ekran ara yüzü vasıtasıyla yapılabilir.

**Tablo 3.** Alıcı Paketi Alıcı Türleri.

	Alıcı Türü	Alıcı Değer Aralığı
CO	C	99
CO2	D	99
N2 veya N	N	99
O2	O	99
H2S	S	99
CH4-Metan	M	99
Sıcaklık	T	99
Nem	H	99
Işık	L	99

Tablo 3'ten de görüldüğü gibi alıcı türü bilgisi için gelmiş olan her bir kodun bir değeri bulunmaktadır. Mesela 1. alıcı değerinin C45 olduğu düşünülürse gelen verinin karbonmonoksitten oluştuğu ve yüzde 45'lik bir değere ulaştığı anlatılmak istenmektedir. Alıcılardan gelen verilerden sıcaklık hariç hepsi yüzdeler değeri olarak alınmıştır.

Uygulama üzerinden tüm alıcı verileri için arama sorgulama yapılabilir. Şekil 4'te arama yapılabilen ekran görünmektedir. Bu ekran üzerinden belirlenen tarih aralığında ve alıcı verileri için belirlenen kriterlere göre geçmişe dönük arama yapılabilir.



Şekil 4. Uygulamanın Alıcılar İçin Sorgulama Ekranı.

## 6. SONUÇ

Bu makale maden izleme sistemlerinde, madenci konum bilgisinin görüntülenmesindeki eksiklik göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Bunun için bir sistem tasarlanmış ve tasarlanan sistemin yazılım uygulaması yapılmıştır. Sistemin uygulaması yapılırken donanım elemanları kullanılmamış, donanım elemanlarından elde edilmesi gerekli olan veriler yazılım vasıtasıyla sanal olarak oluşturulmuştur. Sistem kullanıcının zorlanmadan üç boyutlu harita çizemediği ve çizdiği bu harita üzerinden madenci konumlarını izleyebildiği bir ara yüze sahiptir. Sistem bir web uygulaması olduğu için tüm dünyaya açılabilir. Bunun yanında izleme yapacak kullanıcıların bilgisayarlarına ekstradan bir yazılım kurmasını da gerektirmez.

Uygulama üzerinde alıcılar vasıtasıyla madenden toplanan bilgiler kayıt altına alınmış ve bu veriler üzerinden sorgulama işlemlerinin yapılabileceği bir ara yüz tasarlanmıştır. Madenci konumlarının geçmişe ait sorgulamaları da gene alıcı verilerinin arama sorgulama işlemlerinde kullanıldığı gibi gelişmiş bir ara yüz vasıtasıyla yapılabilmektedir.

Bunlara ek olarak makalenin konusu olan yazılım uygulaması sadece madenler için değil; haritasını kullanıcıların çizmesini isteyebileceğiniz her türlü izleme sistemi için kullanılabilir.

## 5. KAYNAKLAR

Aguliar, J. M. (2014). SignalR Programming in Microsoft ASP.NET. USA, Microsoft, <https://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780735683884/samplepages/9780735683884.pdf>

Dirksen, J. (2014). Three.js Essentials. UK, Packt Publishing, <http://download.smkn4padalarang.sch.id/Ebook/webdev/Three.js%20Essentials.pdf>

Efe, U. (2013). Maden İşletmelerinin Planlanmasında Üç Boyutlu Modelleme (3D) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Galloway, J., Wilson, B., Allen, K. S., & Matson D. (2014). Professional ASP.NET MVC 5. Canada, John Wiley & Sons, Inc., <http://www.cs.unsyiah.ac.id/~frdaus/PenelusuranInformasi/File-Pdf/Professional%20ASP.NET%20MVC%205.pdf>

İphar, M (2010). İhmale gelmeyen gerçek: Grizu, Madencilik Türkiye, No. 6, sf. 26-32

Karaoğlu, O. (2014). Maden Ocaklarında Zigbee Tabanlı Veri Haberleşme Uygulaması ve Sonuçlarının Bilgisayar Ortamında İşlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Karabük.

Kocal, F., & Özçelik, Y. (2002). Kömür Madenciliğinde Uzaktan İzleme ve Kontrol Sistemleri ve Kozlu (TTK-Zonguldak) Müessesesindeki Uygulamalar, Türkiye 13 Kontur Kongresi Bildiriler Kitabı, 29-31 Mayıs 2002, sf.357-370

Mallı, T., Kun, M., & Köse, H. (2014). Yeraltı Kömür İşletmelerinde Gaz İzleme ve Erken Uyarı Sistem Teknolojisinin İş Kazalarının Önlenmesindeki Önemi , DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 16 No: 1 Sayı: 46 sh. 59-67

Matsuda, K. & Lea, R. (2013). WebGL Programming Guide. USA, Pearson Education, <http://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780321902924/samplepages/0321902920.pdf>

Sharp, J. (2015). Step by step Microsoft Visual Studio 2013. USA, Microsoft, <https://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780735681835/samplepages/9780735681835.pdf>

Tanır, F. (2009). Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliğine Bakış, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, Adana, sf. 7-8.

Yılmaz, H. (2013). Maden İşyerlerinde Meydana Gelen İş Kazalarından Dolayı İşverenin Hukuki ve Cezai Sorumluluğu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, Adana, sf. 1-36.





## The Temperature-Pressure-Frequency Relationship Between Electrical Power Generating in Stirling Engines

Mehmet Sait CENGİZ<sup>1</sup>, Mehmet Salih MEMİŞ<sup>2</sup>, Metin KAYNAKLI\*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Technical Vocational School, Bitlis Eren University, BİTLİS, TURKEY

<sup>2</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Inonu University, MALATYA, TURKEY

<sup>3</sup>Technical Vocational School, Bitlis Eren University, BİTLİS, TURKEY

Başvuru/Received: 06/02/2017

Kabul/Accepted: 11/04/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

### Abstract

In this research, the variation of electrical power according to temperature, pressure, frequency, and cooler temperature, in Stirling engines was analyzed. The performance characteristics of the low power beta type Stirling engine were determined by gas exchange in this research, and the results were compared and presented by graphics. The performance tests of the Stirling engine heated by using the thermal specification of the sun were realized as 673 K, 773 K, and 873 K for the heater temperatures. The charge pressure was increased from 100 kPa up to 400 kPa with the ranges of 100 kPa. The maximum power was calculated by taking the frequency of crankshaft 10, 30, 50, and 60. Also, the electrical power increase was provided by raising the temperature difference between the hot edge of the displacer and the cooler temperature.

### Key Words

“Stirling engines, renewable energy, solar systems, heat engines”

## 1. INTRODUCTION

Nowadays, fossil based energy sources are diminishing rapidly and are continually causing a global energy crisis. The necessity for an increase in energy has directed scientists to conduct research into renewable energy sources and more efficient machines which can transform these sources into energy.

The sunlight energy applications of Stirling engines are thought to be used for the climatization of homes and synchronized power generation. Mills (2004), through their research revealed that the most productive transformation unit is the system that consists of a Stirling engine, dish, and a mirror (Mills, 2004). In spite of the productivity of these systems being higher, their common usage was never provided due to a variety of problems. In order to be used easily in rural areas, its design should be small, strong, and suitable for individual usage. The idea for using Stirling engines in housing was suggested 20 years ago, but it was not put into practice at that time. Thus, it is important to develop a Stirling engine which is capable of operating at various temperatures at the present time.

Nowadays, power is generated by traditional sources such as (coal etc.), natural gas, and fuel oil. This usage of traditional sources causes global warming by releasing sera gas into the atmosphere which in turn gives rise to climate changes. A 2°C temperature increase was realized related to global warming as of 2015. The average global temperature increased from 15°C to 17°C. Global warming temperature increases were expected to happen between the years 2040-2050. However, an increase in population and the rapid release of sera gases speeded up the predicted date to 2015. For this reason, the number of studies on how to generate power from sunlight and the machines related to this work should be increased in order to prevent this world from warming further.

## 2. STIRLING ENGINES

Working with the externally heated principle, Stirling engines consist of a moving mechanism, a heater, a regenerator, a cooler, a power piston, a piston, and a cylinder block. All Stirling engines consist of a regenerator, heater, and cooler parts, regardless of their types. The function of the movement mechanism is to realize the thermodynamic cycle by driving the piston and displacer through timing it.

Today, Stirling engines exist in various types, with the most well-known ones being the Alfa, the Beta, and the Gamma types (Thombare and Verma, 2008). The Beta type Stirling engines are the most commonly used and are well-known due to their high thermal productivity in the engines, which use sunlight as the heat source (Akyol and Kılıç, 2012; Karabulut et al., 2009). The disadvantage of this type of Stirling engine is the decrease in power generation due to the heat difference between the displacer edges as a result of the heat transmitting being too high in the displacer. The Beta type Stirling engine is shown in Figure 1.

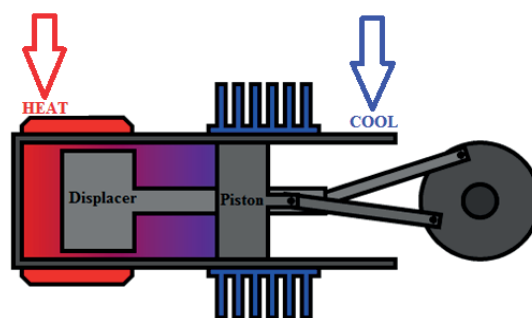


Figure 1. The Beta type Stirling Engine

## 3. POWER GENERATING SIMULATION OF THE STIRLING ENGINE

Usage of energy which was generated from renewable energy sources such as sun and energy which was generated by using local sources is needed for sustainable development (Cengiz and Mamiş, 2015). Simulation of Stirling engine which has beta type crankshaft movement mechanism taking energy from sunlight was realized in this research. By this means it would be possible to have opinion about parameters such as electrical productivity, pressure, temperature values, working frequency and power for Stirling engines. It could be possible to see the parameters such as variation of temperature and pressure according to the working gas which was used.

### 3.1. The Effects of the Stirling Engine Parameter for Power Generating

The usage of energy which is generated from renewable energy sources such as the sun, and energy which is generated by using local resources is needed for sustainable development (Cengiz et. al., 2015). The simulation of the Stirling engine, which has a

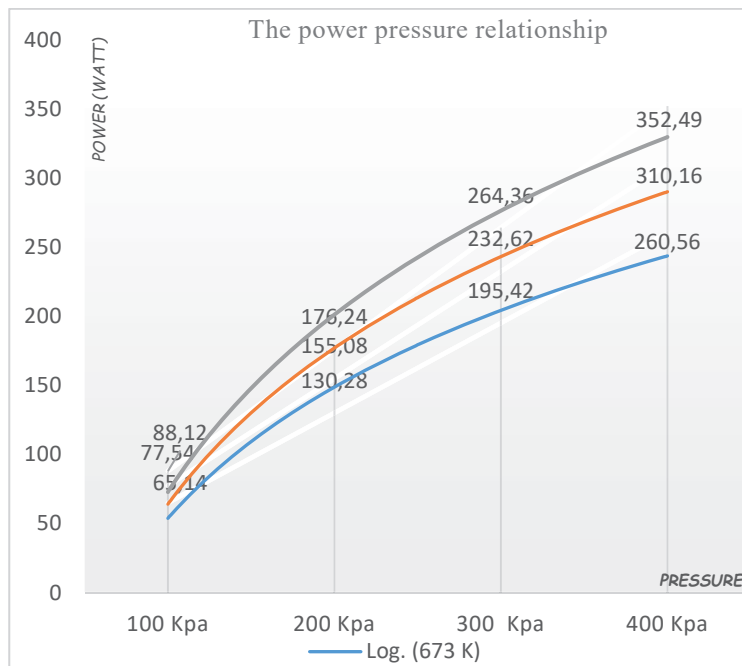
beta-type crankshaft movement mechanism, taking energy from sunlight, was realized in this research. By this means, it would be possible to have an opinion about the parameters such as electrical productivity, pressure, temperature values, working frequency, and the power for the Stirling engines (Cengiz, 2016). It could be possible to see the parameters such as the variation of the temperature and pressure according to the working gas which was used [10].

**Table 1.** The Entry Data for Which Simulation Was Used [7].

Stirling Engine Data		
Working gas		Air
Average pressure	$p_{ave}$	100 / 200 / 300 / 400 kPa
Heater temperature	$T_h$	673 K / 773 K / 873 K
Cooler temperature	$T_k$	300 K / 400 K / 500 K
Clearance volume, compression	$V_{dc}$	8 cm <sup>3</sup>
Swept volume, compression	$V_{swc}$	61.045 cm <sup>3</sup>
Cooler volume	$V_k$	31.2101 cm <sup>3</sup>
Regenerator volume	$V_r$	34.8885 cm <sup>3</sup>
Heater volume	$V_h$	28.5093 cm <sup>3</sup>

**3.2. The Variation in Electrical Power Against Pressure and Temperature**

The analysis of the generated power was performed under 673 K, 773 K, and 873 K temperatures, and 100, 200, 300 and 400 kPa pressure conditions. It was seen that the electrical power increased depending on the heater temperature and the charge pressure. The maximum power value 352.49 W was reached at 873 K temperature and at 400 kPa pressure. The power pressure relationship in the Stirling engines is shown in Figure 2.



**Figure 2.** The power pressure relationship in Stirling engines

In the tests performed under 673 K, 773 K, and 873 K heater temperatures, and the 100, 200, 300, and 400 kPa pressure conditions of the Stirling engine operation, the maximum values were reached at 873 K and 400 kPa as 352.49 W energy generating. The pressure and temperature values increased linearly up to a determined value, and then the productivity increase speed was decreased due to the limited heat transmission, friction capacity at the higher temperature, and pressure conditions. The power temperature, and pressure relationship in the Stirling engines is shown in Figure 3.

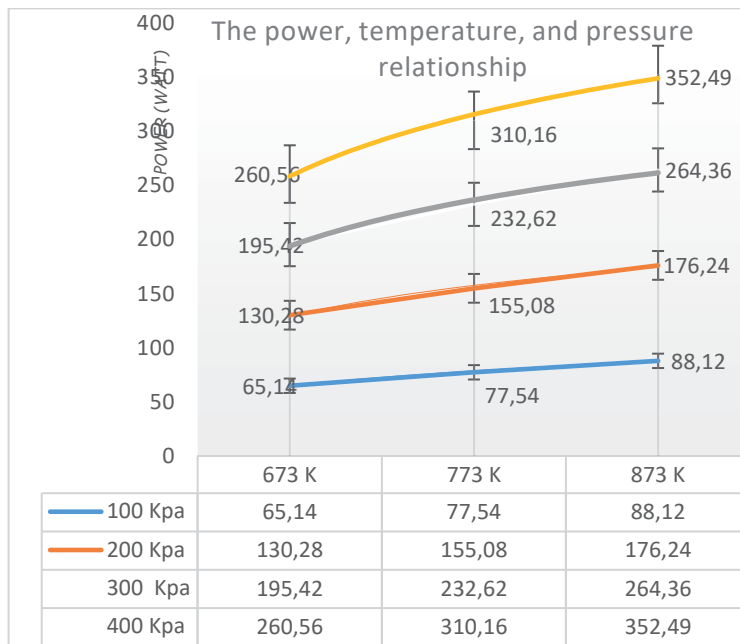


Figure 3. The power, temperature, and pressure relationship in the Stirling engines.

**3.3. The Variation in Electrical Power Against Crankshaft Frequency**

In the performance tests carried out under 673 K, 773 K and 873 K heater temperatures, and 10, 30, 50, and 60 kPa pressure conditions in the Stirling engine operation, the maximum values were reached at 873 K and 60 kPa as 108.41 W energy generating. The pressure and temperature values were increased linearly up to a 50 Hz value, and then the electrical power increasing speed was seen to decrease in higher frequency values such as 60 Hz due to friction. The power frequency relationship in the Stirling engines is shown in Figure 4.

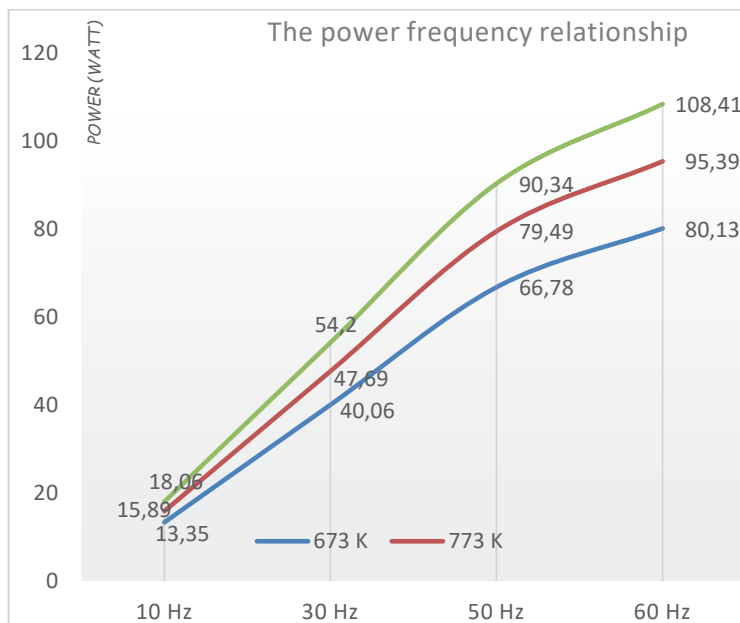


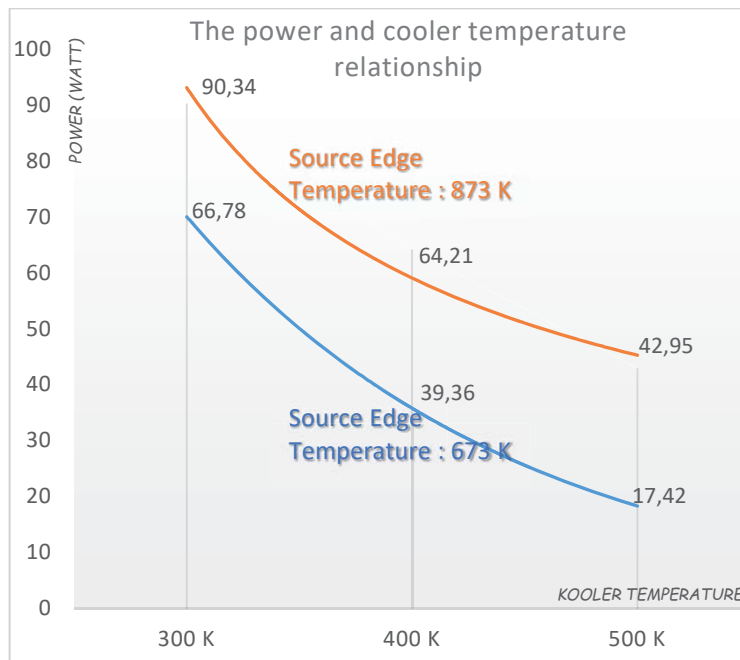
Figure 4. The power frequency relationship in the Stirling engines

### 3.4. The Variation in Electrical Power Against Cooler Temperature

The power frequency relationship in the Stirling engines is shown in Figure 4. The power and cooler temperature relationship in the Stirling engines is shown in Figure 5. Accordingly, while the temperature difference between the cooler temperature and the heated edge (heat source edge) was 300 K, the minimum electrical power was generated, while the temperature difference was 500 K, the maximum electrical power values were reached. This process was performed twice, so it was seen that the electrical productivity was increased by raising the temperature difference between the edges 673 K input temperature and the 873 K input temperature.

While the source temperature was 673 K;

- i. The cooler temperature 300 K (while the temperature difference between the edges 373 K) 66.78 W,
- ii. The cooler temperature 400 K (while the temperature difference between the edges 273 K) 39.36 W,
- iii. The cooler temperature 500 K (while the temperature difference between the edges 173 K) 17.42 W energy generated.



**Figure 1.** The power and cooler temperature relationship in the Stirling engines

While the cooler temperature was 300 K, 400 K, and 500 K, on the performance test, which was carried out by operating the Stirling engine, the maximum power value 90.34 W energy was generated, while the source edge temperature was 873 K, and the cooler temperature was 300 K. Meanwhile, while the temperature difference between the edges was 573 K, the maximum performance was reached, and 90.34 W of energy was generated.

### 4. CONCLUSION

The increase in power increases to a maximum at a determined value re: revolutions, temperature, and pressure, and then the electrical power increasing speed is reduced. The reason for the fall in electrical power is insufficient heat transmission which was transferred to the working gas with the increasing engine revolution and the increasing pressure.

Beta type Stirling engines have high productivity in terms of thermal productivity. However, the temperature of the heated edge cools in a short time due to the displacer transmits the heat. For that reason, electrical productivity decreases by fall of temperature between the edges. If the cooler is produced from another composite material which provides late heating of cooler, electrical productivity increases several times. As assessed in this research, while the input temperature was 873 K and the cooler temperature was 300 K, so the temperature difference was 573 K, and the generated electrical power was 90.34, which is the first one of two difference scenarios. In the second scenario, while the input temperature was 873 K and the cooler temperature was 500 K, so the temperature difference was 373 K, which generated electrical power of 42.95. Similar results were obtained in cases where the input source temperature was 673 K.

The displacement became deformed at high temperatures depending on the material used. If the transmission of temperature is prevented by this method, a deformation possibility occurs.

## 5. ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under Grant EEEAG-115E680.

## 6. REFERENCES

Adiabatic Simulation of Stirling Engines v.1.x. 2014. Available from: <http://zigherzog.net/stirling/simulations/IdealAdiabatic/> [Accessed 30 July 2015]

Akyol Ş.M. and Kılıç M., 2012. Güneş enerjisi kaynaklı bir stirling motorun matlab simulink ile modellenmesi. *Uludağ Univesitesi Müh-Mim. Fakültesi Dergisi*, 17(2), pp. 51-62.

Cengiz M.S. and Mamiş M.S., 2015. A Review of Past-to-Present Literature for Stirling Engines. *Int. J. Sci. Techn. Res* 1: 10-19.

Cengiz M.S., Mamiş M.S., Akdağ M. and Cengiz Ç., 2015. A Review of Prices for Photovoltaic Systems, *International Journal on Technical. Phy. Prob. Engineering* 7(10), pp. 8-13.

Cengiz M.S., Mamiş M.S., Akdağ M. and Cengiz Ç., 2015. A Review of Prices for Photovoltaic Systems. The 11th *ICTPE-15*, pp. 300-305, 10-12 September 2015, Bucharest, Romania

Cengiz Ç., 2016. A Research on Smart Grids in Turkey, *ICNASE-2016*, pp. 2273-2277, March 19-20, Kilis, Turkey

Cengiz Ç., 2016. Electricity Generation from Solar World. *ICNASE-2016*, pp. 2259-2264, March 19-20, Kilis, Turkey

Karabulut H., Aksoy F. and Öztürk F., 2009. Thermodynamic analysis of a Beta type Stirling engine with a displacer driving mechanism by means of a lever. *Renewable Energy*, 34(2), pp. 202-208.

Mills D., 2004. Advances in solar thermal electricity technology. *Solar Energy*, 76(1), pp.19-31.

Thombare D.G. and Verma S.K., 2008. Technological development in the Stirling cycle engines. *Renewable Sustainable Energy Review*, 12(2), pp. 1-38.



## 7075, 6061 Ve 2024 Alüminyum Alaşımlarının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasının Karşılaştırılması

### Comparison of Surface Roughness and Tool Wear in Turning of 7075, 6061 and 2024 Aluminum Alloys

Muharrem PUL

*Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, 71450 KIRIKKALE*

Başvuru/Received: 17/03/2017

Kabul/Accepted: 21/05/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Alüminyum ve alaşımları hafifliği yanı sıra sağlamlığı ve kolay şekillendirilebilme özellikleri sayesinde endüstride giderek artan kullanım alanına sahip olmuştur. Bu alaşımlar içerisinde 7075, 6061 ve 2024 kalite alüminyum alaşımlarının özellikle savunma ve havacılık sanayinde önemi ve kullanım alanları hızla artmaktadır. Bu çalışmada Al 7075, 6061 ve 2024 alaşımlarının talaşlı işlenmesinde yüzey pürüzlülük değerleri ve kesici takım aşınma davranışlarında optimum değerlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla Al 7075, 6061 ve 2024 alaşımlarının üzerinde CNC tornada işleme deneyleri yapılmıştır. İşleme deneyleri, 2,5 mm sabit talaş derinliği, dört farklı kesme hızı (200, 250, 325, 400 m/min) ve üç farklı ilerleme değeri (0,250-0,325-0,400 mm/rev) seçilerek yapılmıştır. Deneylerde alüminyum işlemeye uygun sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Deneylerde işlenen yüzeylerin pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve kesici takımların aşınma davranışları incelenmiştir. Üç farklı alüminyum alaşımının aralarında deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçta farklı işleme parametrelerine göre elde edilen değerler yorumlanmış ve optimum işleme parametreleri belirlenmiştir. İlerleme miktarındaki küçük artışlara karşılık yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük artışlar meydana gelmiştir. Kesici takımlarda dikkate değer aşınma mekanizmaları oluşmamıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Alüminyum Alaşımı, Tornalama, İlerleme, Kesme Hızı, Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Aşınması”

#### Abstract

Aluminium and its alloys having properties such as lightness, strength and easy formability has ever increasing usage area in industry. Importance and usage areas of 7075, 6061 and 2024 quality Al alloy in defense and aviation industry increases rapidly Determination of optimum values in surface roughness and cutting tools wear behaviours in machining of 7075, 6061 and 2024 aluminum alloy is aimed in this study. For this purpose, machining tests on 7075, 6061 and 2024 aluminum alloy was performed to CNC lathe. These tests were performed by choosing constant cutting depths (2.5 mm), four different cutting speeds (200, 250, 325, 400 m/min) and three different feed rate values (0.250-0.325-0.400 mm/rev). Carbide cutting tools suitable for machining aluminum was used in tests. In tests, roughness values of machined surfaces were measured and wear behaviours of cutting tools were examined. The test results were compared among the three different aluminum alloys. Finally, comparison will be made by interpreting values that are obtained according to different machining parameters and optimum machining parameters were determined. Large increase in surface roughness corresponds to the slight increase in feed rate has occurred. Appreciable wear mechanisms were not happened in cutting tools.

#### Key Words

“Aluminum Alloy, Turning, Feed Rate, Cutting Speed, Surface Roughness, Tool Wear”



## 1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları hafifliğinin yanı sıra üstün mekanik özellikleri sayesinde uzay, havacılık, silah ve savunma sanayinin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Alüminyum alaşımları roket ve füze sistemlerinde değişik şekil ve oranlarda kullanılmaktadır (Zhao ve Jiang, 2008). Alüminyum alaşımlarının günümüzde gitgide artan kullanım alanına bağlı olarak işlenebilirlikleri de yaygın olarak araştırılmaktadır. Alüminyumun talaşlı imalatı sırasında gösterdiği davranışlar diğer metalik malzemelere göre daha farklıdır. Alüminyum alaşımları işleme sırasında sıvanma davranışı gösterdiği için, kesici takımların üzerine yapışarak kesme kuvvetleri gibi işleme parametrelerini olumsuz etkilemektedir (Şeker, 2000). Alüminyumun savunma sanayi ve havacılık sanayindeki kullanımındaki imalat özellikleri araştırıldığında ve literatür incelendiğinde, 2XXX ve 7XXX serisi Al alaşımlarının yanında, 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının da ön plana çıktığı görülmektedir. Konuyla ilgili yapılan deneysel çalışmalardan bazı örnekler aşağıda verilmektedir.

Ranganath ve ark. yaptığı çalışmada Al 6061 alaşımının CNC’de tormalanmasında kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkisini incelemiştir. Deneylerin tasarımında Taguchi yöntemini kullanılarak yüzey kalitesi üzerinde tormalama parametrelerinin etkisi analiz edilmiş ve minimum yüzey pürüzlülüğünü bulmak üzere varyans analizi yapılarak sonuçlar optimize edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre olarak kesme hızı tanımlanmıştır. Optimum yüzey pürüzlülüğü, en az talaş derinliği ve ilerleme değeri olduğunda elde edilmiştir (Ranganath, Vipin, Mishra, Prateek ve Nikhil, 2015). Deepak ve Rajendra (2015), çalışmalarında, döküm olarak üretilmiş Al 6061 alaşımı üzerinde çeşitli tormalama işlemlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmıştır. Kesme hızının %39,29 artırılmasıyla, yüzey pürüzlülüğünün % 31,44 azaldığını gözlemişlerdir. İlerleme değeri ve talaş derinliğinin artması yüzey pürüzlülüğünün de artmasına yol açmıştır. Pridhvijit ve Binu (2015) yaptıkları çalışmada, 2014 alüminyum alaşımının tormalama işleminde talaş derinliği, ilerleme ve kesme hızı gibi işleme parametreleri üzerinde bir deneysel çalışma yapmış ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Talaşlı işleme deneyleri, kabür ve TiN kaplı karbür olmak üzere iki farklı kesici takım ile yapılmıştır. Optimum sonuçları bulmak için Taguchi metodu kullanılmıştır. Tormalama işlemindeki performans özelliklerini belirlemede ortogonal sıralama, sinyal-gürültü oranı ve ANOVA yöntemleri kullanılmıştır. Düşük ilerleme miktarı 0,05 mm/rev, yüksek kesme hızı 314 m/min ve yüksek talaş derinliğinde daha iyi yüzey kalitesi sonuçları elde edilmiştir. En iyi yüzey kalitesi, düşük ilerleme ve yüksek kesme hızı değerlerinde elde edilmiştir. Rogov ve Siamak (2013), AA2024 alüminyum alaşımının tormalanmasında kesme parametrelerinin yüzey kalitesi ve doğal frekans üzerine tesirini araştırmıştır. Deneyler TiC kaplı sementit karbür kesici takım ve AISI 50140’dan yapılmış kesici takım olarak iki çeşit kesici takım ucu kullanılarak tornada yapılmıştır. Üç farklı talaş derinliği, ilerleme miktarı ve devir sayısı ve takım yaklaşma açısı kesme parametreleri olarak seçilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinde etkin faktör devir sayısı ve ilerleme değeri olmuştur. List (2015) sementit karbür kesici takım ile alüminyum alaşımının kuru şartlarda işlenmesinde adhezyon ve difüzyon gibi bazı önemli takım aşınması sebeplerini incelemiştir. Bu maksatla, kaplamasız sementit karbür kesici takım ile 2024 alüminyum alaşımı üzerinde ortogonal kesme işlemi yapılmıştır. Kesici takımların SEM görüntüleri incelendiğinde, talaşlı işleme sırasında takım talaş yüzeyinde BUE ve adhesiv aşınma mekanizmasının oluştuğu görülmüştür. Konuyla ilgili yapılan başka çalışmalarda da benzer sonuçlar ortaya koyulmuştur (Demir ve Gündüz, 2009), (Gökkaya ve Nalbant, 2007), (Kaya, Cengiz, Uçar, 2010), (Abdallah , Rajamony, Embark, 2014), (Sekmen, Günay, Şeker, 2015), (Sreejith, 2008), (Ay, Karagöl, 2011), (Camposeco-Negrete, 2015). Yapılan bu deneysel çalışma ile literatürdekilere ilave olarak alüminyum alaşımlarının işlenmesiyle ilgili araştırmalara ışık tutacak yeni sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERIAL VE METOT

### 2.1. Deneylerde kullanılacak malzemelerin seçimi

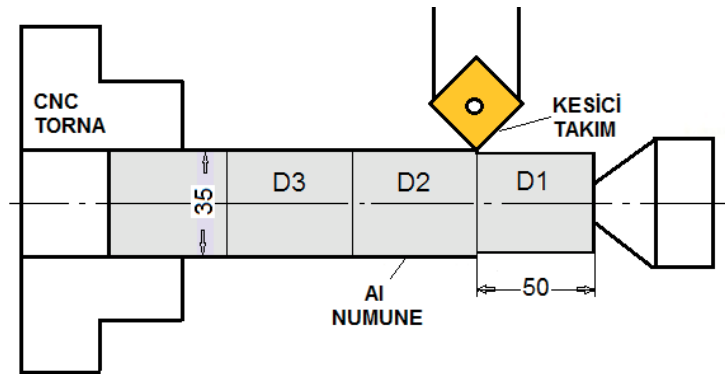
7XXX, 6XXX ve 2XXX serisi alüminyum alaşımlarının içerisinde en yaygın olarak ticari kullanıma sahip, Al 7075, Al 6061 ve Al 2024 alaşımları örnek olarak seçilmiştir. Çizelge 1’de alaşımlara ait kimyasal ve mekanik özellikler verilmektedir.

**Çizelge 1.** Al 7075, Al 6061ve Al 2024 alaşımlarının kimyasal ve mekanik özellikleri

Al 7075							
% Fe	% Si	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Ti	% Cr
0,50	0,40	0,20	0,30	2,10-2,90	5,10-6,10	0,20	0,18-0,35
Akma (Mpa)		Çekme (Mpa)		Uzama (%)		Sertlik (Brinel)	
460 -505		530 -570		6-8		145 -155	
Al 6061							
% Fe	% Si	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Ti	% Cr
0,70	0,40-0,80	0,60-1,10	0,15	0,80-1,20	0,25	0,15	0,04-0,35
Akma (Mpa)		Çekme (Mpa)		Uzama (%)		Sertlik (Brinel)	
240 -275		260 -310		8 -12		90 -95	
Al 2024							
% Fe	% Si	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Ti	% Cr
0,70	0,50	0,05-0,20	0,30-0,90	1,20-1,80	0,25	0,15	0,10
Akma (Mpa)		Çekme (Mpa)		Uzama (%)		Sertlik (Brinel)	
315 -330		440 -465		12-14		120	

## 2.2. İşlenebilirlik deneylerinin yapılması

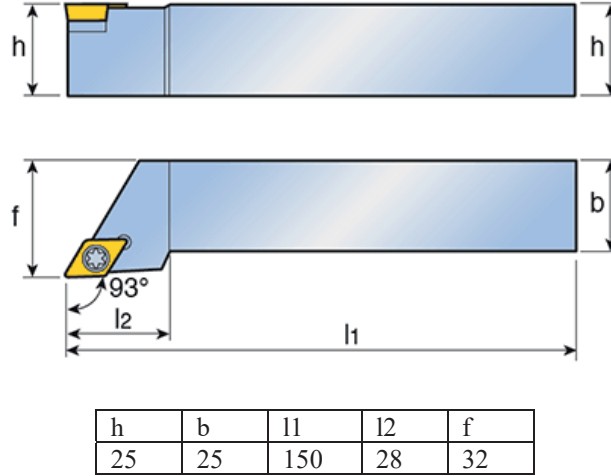
Çalışmanın birinci bölümünde, tornalama yöntemi kullanılarak, Goodway marka G 200 model Bilgisayar Sayısal Denetimli Torna tezgahında (CNC), Al 7075, Al 6061ve Al 2024 malzemelerin talaşlı işleme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde, 35 mm çapında ve 200 mm boyunda deney numuneleri kullanılmıştır. İşleme deneyleri için; 2,5 mm sabit talaş derinliği, dört farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme değeri tespit edilmiştir. İşleme deneyleri kuru kesme şartlarında, alüminyum işlemeye uygun kaplamasız sementit karbür, DCGT 11T308 ALU AK10 kodlu kesici takımlar ile yapılmıştır. Her bir Al numune üzerinde 3 adet deney yapılmış olup toplamda 12 adet numune ile 36 adet tornada işleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneylere ait şematik gösterim ile birlikte, deney parametrelerinin gösterildiği deney planı Şekil 1’de verilmiştir.




	Kesme hızı m/min	İlerleme 0,250 mm/rev	İlerleme 0,315 mm/rev	İlerleme 0,400 mm/rev	Numune No
Al 7075	200	D1	D2	D3	1
	250	D4	D5	D6	2
	325	D7	D8	D9	3
	400	D10	D11	D12	4
Al 6061	Kesme hızı m/min	İlerleme 0,250 mm/rev	İlerleme 0,315 mm/rev	İlerleme 0,400 mm/rev	Numune No
	200	200	D13	D14	D15
	250	250	D16	D17	D18
	325	325	D19	D20	D21
Al 2024	Kesme hızı m/min	İlerleme 0,250 mm/rev	İlerleme 0,315 mm/rev	İlerleme 0,400 mm/rev	Numune No
	200	200	D25	D26	D27
	250	250	D28	D29	D30
	325	325	D31	D32	D33
	400	400	D34	D35	D36

**Şekil 1.** Talaşlı işleme deney planı ve şematik gösterimi

İşleme deneyleri kuru kesme şartlarında, DCGT 11T308 ALU AK10 kodlu alüminyum işlemeye uygun kesici takım ile yapılmıştır. Seçilen takım tutucu ve kesici takıma ait geometrik özellikler ile teknik bilgiler Şekil 2 ve Çizelge 2’de verilmiştir.

**Şekil 2.** SDJCR 25 25 M11 kodlu takım tutucu**Çizelge 2.** İşleme deneylerinde kullanılan kesici takım ve teknik özellikleri

ISO Geometri Kodu	Kesici Kenar Boyu	Kalınlık	Köşe Radyusu	Kenar Açısı	
DCGT 11T308 ALU AK10	11,6	3,97	0,8	7°	

### 2.3. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ölçülmesi

Malzemelerin talaşlı işlenebilme davranışlarının belirlenmesinde kullanılan önemli ölçütlerden birisi de işlenen yüzeylerin pürüzlülük değerleridir (Trent 1989). Çalışmanın ikinci aşamasında, talaşlı işleme deneylerinden elde edilen Al numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerinin tespiti için (TS 6212 EN ISO 4288, 1999) standardındaki kurallara uyumlu *Mahr MarSurf PSI* marka portatif tip cihazla yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. İşlenen her bir numuneden üç ayrı bölgeden yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılarak aritmetik ortalamaları alınmış ve Ra cinsinden yüzey pürüzlülük değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar her kesme parametresine bağlı olarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

### 2.4. Kesici takım aşınma miktarlarının görüntülenmesi

İşleme deneylerinde kullanılacak kesici takımların, her bir köşesi tek bir deney parametresi için kullanılmış olup, bir defa kullanılan kesici uca ait köşe tekrar kullanılmamıştır. Çalışmanın son aşamasında, işleme deneylerinde kullanılan kesici takım uçlarının, talaş yüzeyi ve kesmeye esas yan yüzeylerinin optik mikroskopta görüntüleri alınarak takım ucundaki aşınmalar ve talaş kalıntı biçimleri (BUE vb.) incelenmiştir. Kesici takımların aşınma davranışları her kesme parametresine bağlı olarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

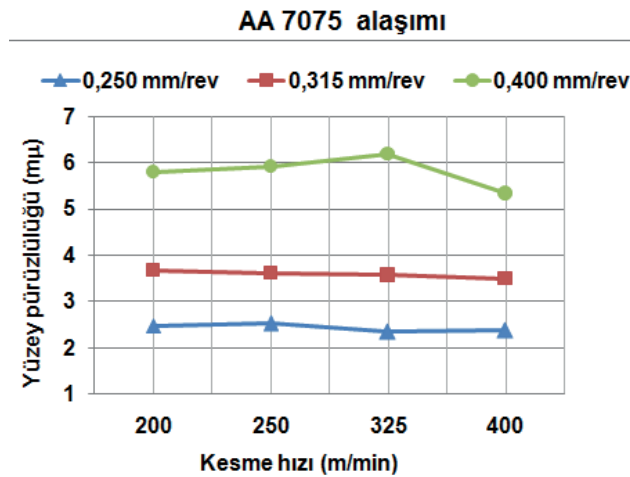
### 3. BULGULAR

#### 3.1. Yüzey Pürüzlülükleri

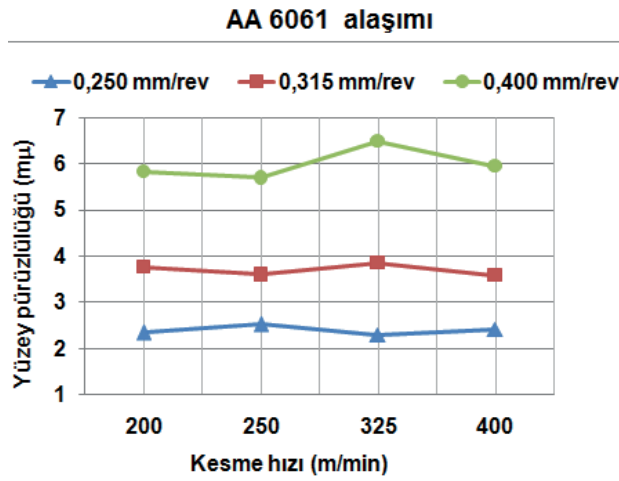
Talaşlı işleme deneyleri yapılan Al 7075, Al 6061 ve Al 2024 alaşımı numunelerin kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 3'te ve çizilen grafikler Şekil 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre yüzey pürüzlülük değerleri

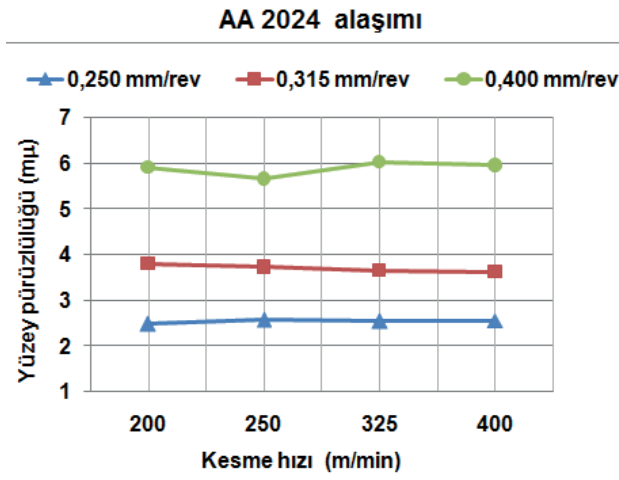
Al 7075			
	İlerleme (0,250 mm/rev)	(İlerleme 0,315 mm/rev)	İlerleme (0,400 mm/rev)
Kesme hızı (m/min)	Yüzey Pürüzlülük Değerleri Ra ( $\mu\text{m}$ )		
200	D1 2,48	D2 3,68	D3 5,80
250	D4 2,53	D5 3,61	D6 5,93
325	D7 2,35	D8 3,57	D9 6,19
400	D10 2,38	D11 3,49	D12 5,34
Al 6061			
	İlerleme (0,250 mm/rev)	(İlerleme 0,315 mm/rev)	İlerleme (0,400 mm/rev)
Kesme hızı (m/min)	Yüzey Pürüzlülük Değerleri Ra ( $\mu\text{m}$ )		
200	D13 2,34	D14 3,76	D15 5,84
250	D16 2,53	D17 3,60	D18 5,70
325	D19 2,30	D20 3,86	D21 6,49
400	D22 2,42	D23 3,59	D24 5,95
Al 2024			
	İlerleme (0,250 mm/rev)	(İlerleme 0,315 mm/rev)	İlerleme (0,400 mm/rev)
Kesme hızı (m/min)	Yüzey Pürüzlülük Değerleri Ra ( $\mu\text{m}$ )		
200	D25 2,48	D26 3,80	D27 5,92
250	D28 2,57	D29 3,73	D30 5,66
325	D31 2,54	D32 3,66	D33 6,04
400	D34 2,56	D35 3,62	D36 5,96



(a)



(b)



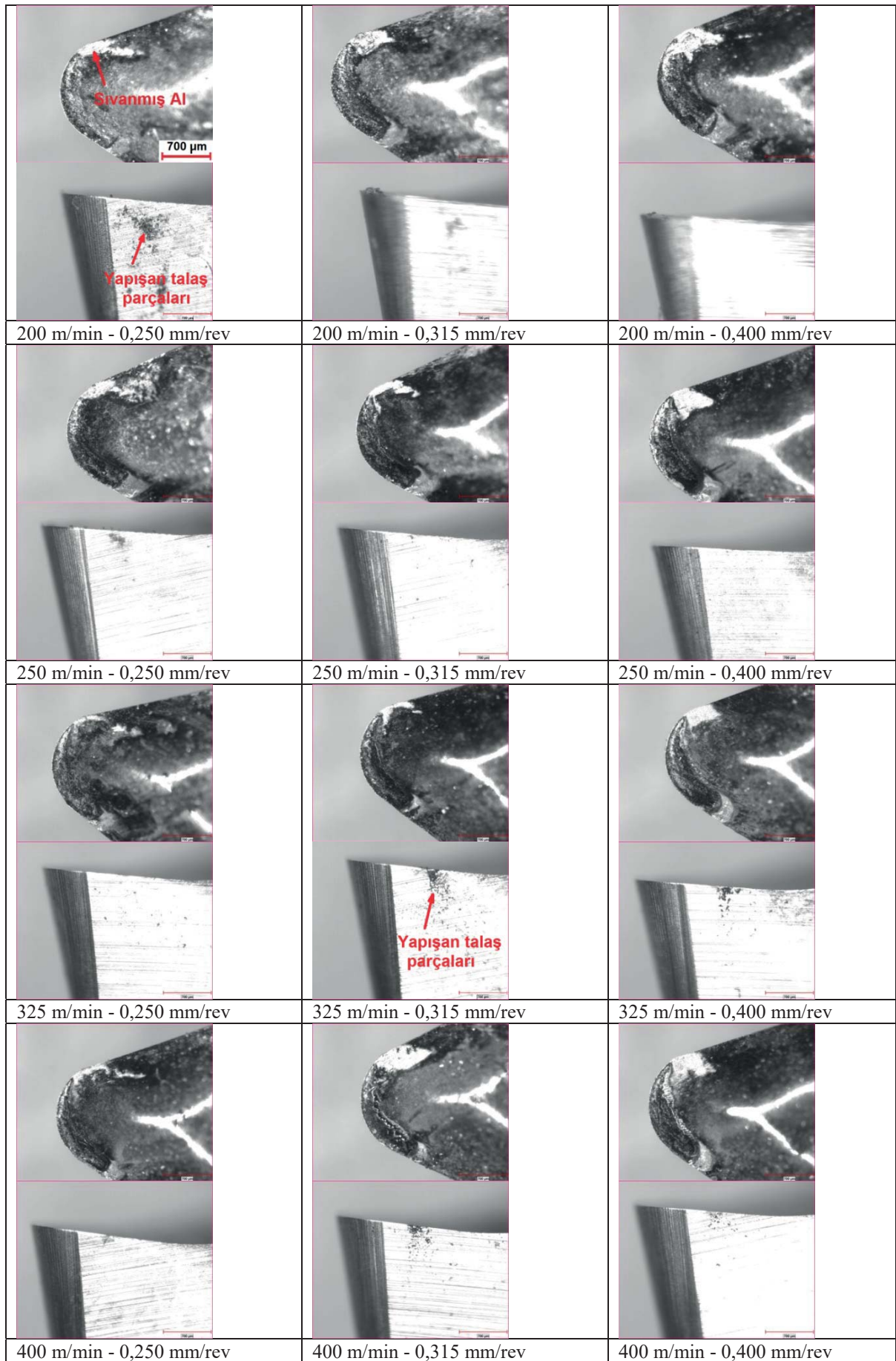
(c)

**Şekil 3.** Kesme hızı ve ilerleme miktarlarına göre yüzey pürüzlülük değerleri

Şekil 3'deki grafikler incelendiğinde, ilerleme değerindeki artışla beraber yüzey pürüzlülük değerlerinin de artış gösterdiği görülmektedir. Bu durum literatürle paralellik arz etmektedir (Ranganath, Vipin, Mishra, Prateek, Nikhil, 2015), (Deepak, Rajendra, 2015), (Pridhvijit, Binu, 2015), (Rogov, Siamak, 2013). İlerleme değerinin %60 artırılarak 0,250 mm/rev'den 0,400 mm/rev değerine çıkartılmasıyla, pürüzlülük değeri %280 artarak 2,30 mikrondan 6,49 mikrona kadar çıkmıştır. İlerlemedeki küçük artışlar, pürüzlülük değerlerinde büyük artışa sebep olmuştur. İşleme deneylerinde kullanılan kesici takımın 0,8 mm olan köşe radiusunun yüksek ilerleme değerleri için yeterli olmadığı, daha büyük köşe radiusuna sahip takım kullanılmasının gerekli olduğu, yinede seçilen ilerleme değerlerinin yüksek kaldığı, özellikle 0,400 mm/rev değerinin ise bu tür Al alaşımları için uygun olmadığı ifade edilebilir. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin genel olarak azalma eğilimine geçtiği bilinmektedir. Ancak yapılan bu çalışmada, her ilerleme değeri için seçilen 200, 250, 325 ve 400 m/min kesme hızları arasındaki yüzey pürüzlülük değerlerinde çok farklı sonuçlar ortaya çıkmadığı söylenebilir. Pürüzlülük değerlerinde etkili parametrenin ilerleme değeri olduğu sonucu bir kez daha teyit edilmiştir.

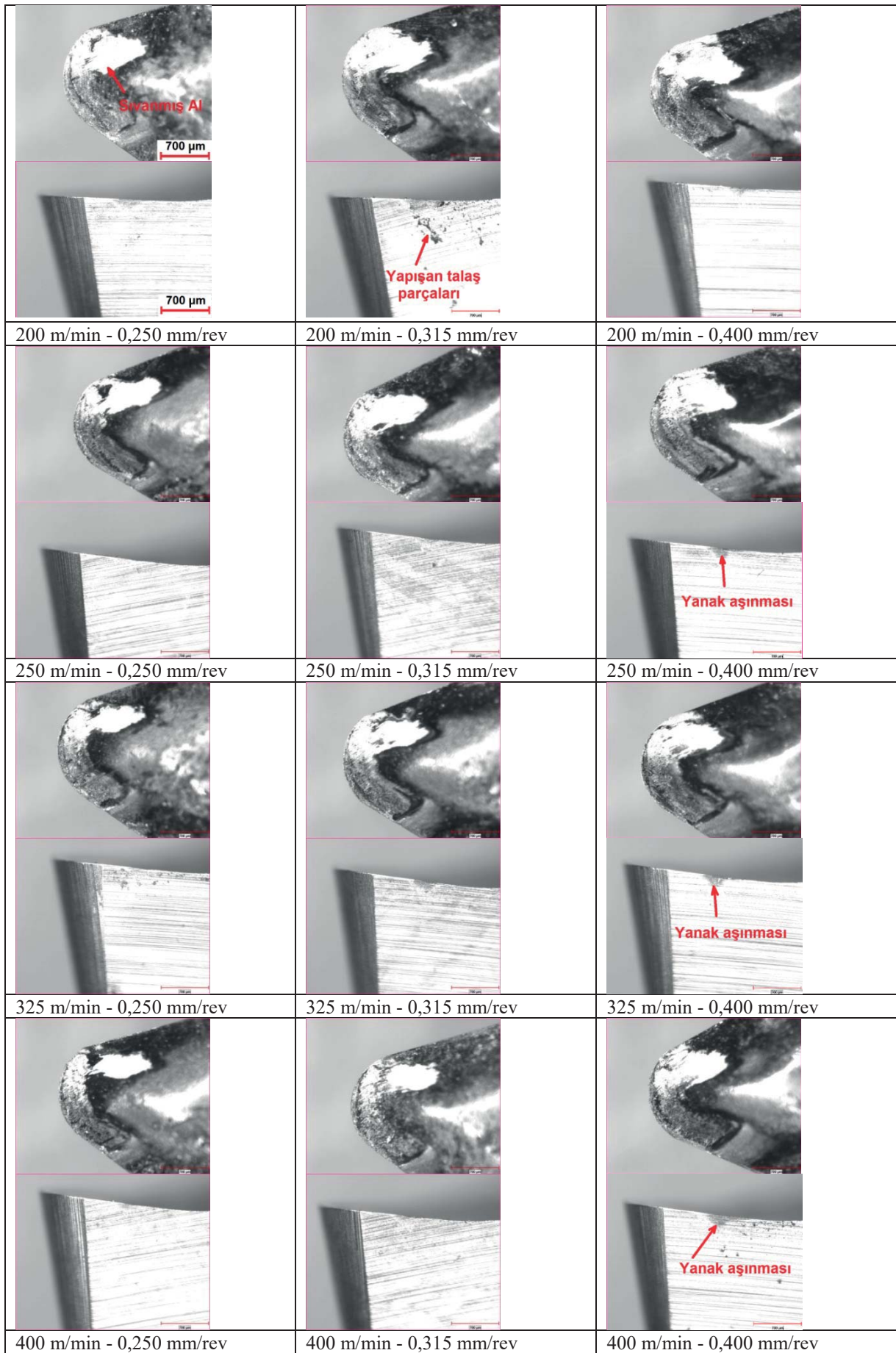
### 3.2. Kesici Takım Aşınma Davranışları

Talaşlı işleme deneylerinden sonra, kesici takımların işlemede kullanılan uçlarının optik mikroskop görüntüleri alınmıştır. Al alaşım cinsine göre, dört adet kesme hızı ve üç adet ilerleme değerinde kullanılan kesici takımların talaş yüzeyi ve kesici kenar kısmından alınan optik mikroskop görüntüleri Şekil 4, 5 ve 6'da verilmiştir.



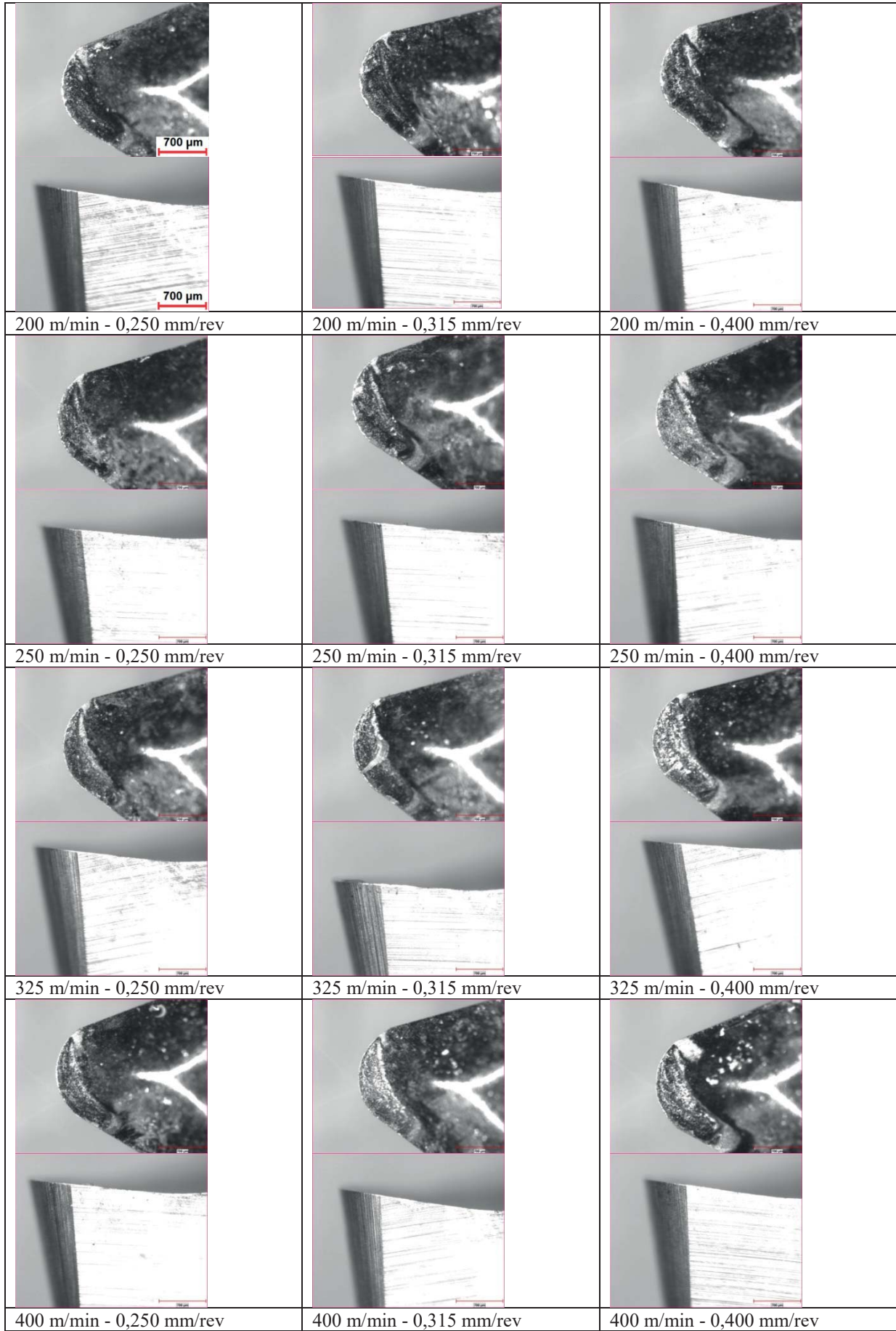
Şekil 4. Al 7075 malzemelerin işleme deneylerinde kullanılan kesici takım uçlarının talaş yüzeyi ve yan yüzeylerinden çekilmiş optik mikroskop görüntüleri





Şekil 5. Al 6061 malzemelerin işleme deneylerinde kullanılan kesici takım uçlarının talaş yüzeyi ve yan yüzeylerinden çekilmiş optik mikroskop görüntüleri





Şekil 6. Al 2024 malzemelerin işleme deneylerinde kullanılan kesici takım uçlarının talaş yüzeyi ve yan yüzeylerinden çekilmiş optik mikroskop görüntüleri

Şekil 4'deki görüntüler incelendiğinde, bütün ilerleme değerlerinde takım talaş yüzeyine sıvanmış çok az miktarda Al 7075 malzemeyi görmekteyiz. İlerleme değerinin artmasıyla malzeme sıvanan yüzey alanının bir miktar artış gösterdiği görülmektedir. Takım talaş yüzeyine sıvanan malzeme miktarı çok ince bir tabaka olarak görüldüğünden herhangi bir BUE oluşumundan söz etmek zordur. Takımlara ait yan yüzey görüntülerine bakıldığında, sıvanma miktarının gözle görünür seviyede bir kalınlık oluşturmadığı açıktır. Yan yüzeylerde bir miktar talaş kalıntısı görünse de bu kalıntıların, işleme deneyleri sırasında malzeme yüzeyi ve takım ucundan uzaklaşan talaşların sürtünmesi ve bu yüzeylerde kalması olarak değerlendirilmektedir. Takım aşınma davranışlarında kesme hızlarındaki yükselmeye bağlı olarak kayda değer bir değişiklik gözlenmemiştir. Bunların dışında, takım talaş yüzeylerinde krater aşınması ve takım yan yüzeylerinde yanak (serbest yüzey) aşınmasının meydana gelmediği görülmektedir.

Şekil 5'deki optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, Şekil 4'deki Al 7075 malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takımlara ait görüntülerinin benzeriyle karşılaşmaktayız. Ancak takım talaş yüzeylerine sıvanan Al 6061 malzeme miktarının Al 7075 malzeme sıvanmasına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebini, Al 6061 alaşımının sertlik değerinin Al 7075 alaşımına göre daha düşük olmasıyla açıklamak mümkündür. Al 7075 malzemede olduğu gibi, kesme hızındaki artış miktarları, aşınma miktarında kayda değer bir değişiklik yaratmamıştır. İlerleme miktarının artmasıyla birlikte takım ucu yüzeyine sıvanan Al malzeme alanında bir miktar artış olmuştur. Ancak, BUE oluşturacak seviyede Al sıvanması olmamıştır. Takım yan yüzeylerinde, 250 m/min kesme hızı değerinden başlayarak, 325 m/min ve 400 m/min kesme hızlarındaki 0,400 mm/rev ilerleme değerlerinde az miktarda yanak aşınması meydana gelmiştir. Yanak aşınmalarına Al 6061 alaşımı içerisinde bulunan yüksek orandaki silisyum (Si) elementinin neden olduğu değerlendirilmektedir. Al 6061 alaşımının işlenmesinde, 0,400 mm/rev ilerleme değerinin sadece yüzey pürüzlülüklerinde değil aynı zamanda takım aşınma davranışlarında da tercih edilmeyecek işleme sonuçları ortaya koymuştur.

Şekil 6'daki görüntüler incelendiğinde ise, kesici takımları yüzeyindeki Al malzeme sıvanmasının Al 7075 ve Al 6061 alaşımlarında ki kadar olmadığı, hatta bazı takım talaş yüzeylerinde yok denecek miktarda gerçekleştiği görülmektedir. Takım talaş yüzeylerinde çok küçük parçacıklar şeklinde talaş kırıntılarının olduğu söylenebilir. Takım yan yüzeylerine bakıldığında, herhangi aşınma mekanizmasına rastlanmamaktadır. Kullanılan kesici takım yüzeylerinin hiçbir deformasyona uğramadığı, Al 2024 alaşımının işlenmesinde, Al 7075 ve Al 6061 alaşımlarına göre daha iyi performans gösterdiği ifade edilebilir.

Bu çalışmada kullanılan kesici takım uçlarında genel olarak bir miktar Al malzeme sıvanması meydana gelmiştir. Bunun dışında, kesici takım yüzeylerinde krater aşınması, çentik aşınması, burun aşınması ve yanak aşınması gibi herhangi aşınma mekanizması etkili olmamıştır. Kullanılan kesici takım, seçilen deney parametrelerine göre Al 7075, Al 6061 ve Al 2024 alaşımlarının işlenmesinde aşınma yönünden iyi sonuçlar alınmıştır. Sonuç olarak, talaşlı işleme deneylerinde kullanılan DCGT 11T308 ALU AK10 kodlu sementit karbür kesici takımların iyi performans gösterdiği ve tavsiye edilebilir nitelikte olduğu değerlendirilmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Literatürde belirtildiği üzere, ilerleme değerindeki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri de artış göstermiştir. Ancak, pürüzlülük değerlerindeki artışlar, ilerleme değerindeki artış oranına göre çok daha fazla miktarda gerçekleşmiştir. İlerlemenin değerinin %60 artışına karşılık, pürüzlülük değeri %280 artış göstermiştir. 0,400 mm/rev değerinin bu tür Al alaşımları için yüksek kaldığı ve tavsiye edilemeyeceği görülmüştür. Kullanılan kesici takımın 0,8 mm olan köşe radyusunun 0,400 mm/rev ilerleme değerleri için yeterli olmadığı, daha büyük köşe radyusuna sahip takım kullanılmasının gerekli olduğu tespit edilmiştir. Seçilen 200, 250, 325 ve 400 m/min kesme hızları arasında yüzey pürüzlülük değerleri bir miktar değişse de çok farklı sonuçlar ortaya çıkmamıştır.

İşleme deneylerinde kullanılan Al 2024 alaşımı hariç tutulursa, bütün takım talaş yüzeylerinde az miktarda Al malzeme sıvanması meydana gelmiştir. Ancak sıvanan bu malzeme BUE oluşumundan söz edilmeyecek ölçüde çok ince bir tabaka şeklinde meydana gelmiştir. Sadece Al 6061 alaşımının işlenmesinde kullanılan kesici takımlarda, 0,400 mm/rev ilerleme değerinde az miktarda bir yanak aşınması tespit edilmiş olsa da, genel olarak takım yan yüzeylerinde kayda değer bir yanak aşınması oluşmamıştır. Al 6061 alaşımındaki yanak aşınmasının nedeni olarak, Al 7075 ve Al 2024 alaşımlarına göre daha yüksek oranda Si içermesi gösterilebilir. Seçilen işleme parametrelerine göre yapılan deneylerde kullanılan sementit karbür DCGT 11T308 ALU AK10 kodlu kesici takımlar iyi performans göstermiş olup bu tür alüminyum alaşımlarının tornalanması ve talaşlı işlemleri için tavsiye edilebilir niteliktedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2015/140 numaralı proje kapsamında Kırıkkale Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abdallah A., Rajamony B., Embark A., (2014). "Optimization of cutting parameters for surface roughness in CNC turning machining with aluminum alloy 6061 material", International organization of Scientific Research, 4, 10, 1-10.
- Ay M., Karagöl T., (2011). "Investigation of the machinability of the Al 7075 alloy using DLC coated cutting tools", Scientific Research and Essays, 6, 1, 44-51.
- Camposeco-Negrete C., (2015). "Optimization of cutting parameters using Response Surface Method for minimizing energy consumption and maximizing cutting quality in turning of AISI 6061 T6 aluminum", Journal of Cleaner Production, 91, 109-117.
- Deepak D., Rajendra B., (2015). "Investigations on the surface roughness produced in turning of Al 6061 (as-cast) by taguchi method", International Journal of Research in Engineering and Technology, 4, 8.
- List G., (2015). "Wear behavior of cemented carbide tools in dry machining of aluminium alloy", Wear, 259, 7-12, 1177-1189.
- H. Demir ve S. Gündüz, (2009). "The effects of aging on machinability of 6061 T6 Aluminium Alloy", Materials & Design, 30, 5, 1480-1483.
- H. Gökkaya ve M. Nalbant, (2007). "Kesme hızının yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu üzerindeki etkilerinin sem ile incelenmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 22, 3, 481-488.
- H. Kaya, A.Cengiz, M. Uçar, (2010). "Talaş formuna bağlı olarak 7075 Al Alaşımının işlenebilirlik parametrelerinin uygunluğunun tespit edilmesi", 2. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 77-91, Konya.
- Pridhvijit A., Binu C. Y., (2015). "Experimental Study and Parameter Optimization of Turning Operation of Aluminium Alloy-2014", International Journal of Engineering Research and General Science, 3, 5.
- Ranganath M. S., Vipin, R. S. Mishra, Prateek, Nikhil, (2015). "Optimization of Surface Roughness in CNC Turning of Aluminium 6061 Using Taguchi Techniques", International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), 5, 5.
- Rogov V. A., Siamak G., (2013). "Optimization of Surface Roughness and Vibration in Turning of Aluminum Alloy AA2024 Using Taguchi Technique", International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, 7, 11.
- Sekmen M., Günay M., Şeker U., (2015). "Alüminyum Alaşımlarının İşlenmesinde Kesme Hızı ve Talaş Açısının Yüzey Pürüzlülüğü, Yığıntı Talaş ve Yığıntı Katmanı Oluşumu Üzerine Etkisi", Journal of Polytechnic, 18, 3, 141-148.
- Sreejith P.S., (2008). "Machining of 6061 T6 Aluminium Alloy with MQL, dry and flooded lubricant conditions" Materials Letters, 62, 2, 276-278.
- Trent, E.M., (1989). "Metal cutting", Butterworths Press, London, 1-171.
- TS 6212 EN ISO 4288, (1999). "Mamulün Geometrik Özellikleri (Gps) - Yüzey Yapısı : Profil Metodu - Yüzey Yapısının Değerlendirilmesi İçin Kurallar ve İşlemler", TSE, Ankara.
- Zhao T., Jiang Y., (2008). "Fatigue of 7075-T651 Aluminum Alloy", International journal of fatigue, 30, 834-849.
- Şeker, U., (2000). "Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı", G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Ders Notları, 39-45, Ankara.



## Programlanabilir Lojik Denetleyici Tabanlı Rüzgâr İzleme Sistemi Uygulaması

### Application of Wind Monitoring System Based on Programmable Logic Controller

Hayati MAMUR<sup>\*1</sup>, Enes BEKTAŞ<sup>1</sup>, Adem ÇİÇEK<sup>1</sup>, Fatih KORKMAZ<sup>1</sup>, İsmail TOPALOĞLU<sup>1</sup>, Murat ARI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Çankırı Karatekin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 18100 ÇANKIRI

Başvuru/Received: 29/04/2016

Kabul/Accepted: 12/02/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Bir bölgedeki veya mahallî bir yerdeki rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi, rüzgârın uzun süreli ölçülmesi ve ölçüm değerlerinin kayıt altına alınarak analiz edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Büyük rüzgâr türbinlerinin kurulacağı bölgelerde maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle rüzgâr analizlerinin gerçekleştirilmesi elzemdir. Küçük rüzgâr türbinlerinde ise kurulum maliyetleri düşük olduğu için bu analizlere pek ihtiyaç duyulmaz. Bu makalede, Uluslararası Elektroteknik Komisyonunun hazırlamış olduğu IEC 61400-12-1 standardı çerçevesinde, yeni üretilen bir küçük rüzgâr türbininin güç performans ve enerji verimliliği analizleri yapılırken giriş gücünün de ölçümünde kullanılacak kabiliyette, Çankırı Karatekin Üniversitesi Uluyazı Kampüsü rüzgâr analiz sisteminin tasarımı ve yazılımı gerçekleştirilmiştir. Programlanabilir lojik denetleyici ile yapılan bu sistem ile küçük rüzgâr türbinlerinin giriş enerjisi olan atmosferdeki rüzgâr hızı, yönü, havanın nemi, atmosfer basıncı ve sıcaklık değişkenlerin ölçülmesine ve kayıt altına alınmasına başlanılmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

"Yenilenebilir enerji, rüzgâr enerjisi, rüzgâr analiz sistemi, küçük rüzgâr türbini"

#### Abstract

Determination of wind potential in a place or in a local area is performed by analyzing of long term wind data recorded and accumulated. In areas where constructions of large wind turbines, the realizing of the wind analyses is essential because of the high costs of them. In small wind turbines, it is not necessary the analyses due to the low costs of them. In this paper, design and implementation of a wind analysis system for determining wind potential of Cankiri Karatekin University Uluyazi Campus have been carried out within the framework IEC 61400-12-1 standardized by International Electrotechnical Commission, the system is also going to be used for an energy analysis system having a capability fulfilling the power performance and the energy efficiency analysis of small wind turbines manufactured by the small wind turbine manufacturers. By means of the carried-out system, the wind speed, direction, air pressure and temperature at Uluyazi Campus have been registered and monitored.

#### Key Words

"Renewable energy, wind energy, wind analysis system, small wind turbine"

## 1. GİRİŞ

Fosil yakıtların negatif etkileri ve bir gün tükenecek olması ülkeleri alternatif enerji kaynaklarının kullanımına ve potansiyellerinin belirlenmesine doğru zorlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi Dünya için kısa ve uzun vadede en önemli alternatif enerji kaynaklarından biridir. Rüzgâr enerjisini, kullanılabilir enerji kaynaklarından olan elektrik enerjisine çevirmenin yolu rüzgâr türbinleri kullanmaktır.

Rüzgâr türbinleri genelde iki sınıfa ayrılır: (1) Büyük rüzgâr türbinleri (Large Wind Turbines – LWT) ve (2) Küçük rüzgâr türbinleri (Small Wind Turbines – SWT). Belirlenen bir bölgeye LWT rüzgâr türbinlerinin kurulması için belirlenen bölgenin rüzgâr analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekir. Elde edilen veriler ışığı altında ekonomik değerlendirmeler yapılarak o bölgeye LWT kurulup-kurulmayacağına karar verilir. Çünkü LWT'lerin kurulum maliyetleri yüksektir.

Çankırı ili merkezi için belirlenen ortalama rüzgâr hızı yaklaşık 4 m/s'dir. Bu rüzgâr hızı Şabanözü, Orta ve Çerkeş kenar ilçelerinde yaklaşık 7 m/s'ye kadar çıkmaktadır. Rüzgâr hızının belirli bir değerin üzerindeki bölgeler, LWT'ler için yatırım yapılabilir olarak kabul edilebilmektedir.

Rüzgâr hızında ve yönünde, doğası gereği hızlı değişimler meydana gelmektedir. Bu amaçla rüzgâr veri toplama sistemlerinden elde edilen bulgulara bağlı olarak, geliştirilen istatistiksel programlarla elde edilebilecek rüzgâr enerjisi tahminleri yapılmaktadır. Bu tahminlerin yapılması için gerekli olan bilgiler ve dersler lisans ve yüksek lisans seviyesindeki öğrencilere verilmektedir. Ayrıca alternatif sürdürülebilir enerji kaynaklarının lisans ve lisansüstü öğrencilerine anlatılması eğitim programlarına konulan yeni derslerle gerçekleştirilmektedir.

Sürdürülebilir enerji kaynaklardan olan rüzgâr enerjisinin tahminlerinin yapılması için bu enerjinin ölçümü önem kazanmaktadır. Çünkü rüzgâr, rüzgâr enerji çevrim sisteminin giriş enerjisini oluşturmaktadır. Rüzgâr enerjisi de bulunan yerel bölgeye göre değişiklikler göstermektedir.

Bu bağlamda, Çankırı'ya hâkim bir yerde kurulmuş olan Çankırı Karatekin Üniversitesi Uluayazı Kampüsü rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi için, IEC 61400-12-1 standardını referans alan SWT giriş enerjisinin ölçümünde de kullanılacak bir formda rüzgâr enerjisi analiz direği kurulmuş ve Uluayazı Kampüsünün rüzgâr potansiyeli programlanabilir lojik denetleyicili (PLC) bir yönetici kontrol ve veri edinim sistemi (SCADA) ile ölçülmeye ve kaydedilmeye başlanılmıştır. Bu gerçekleştirilen çalışmanın sunumu şu şekilde yapılmıştır: Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan materyal ve metotlar verilmiştir. Üçüncü bölümünde ise analiz ve bulgular sunulmuştur. Son olarak da, dördüncü bölümünde sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

## 2. MATERIAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada, yöntem olarak SWT güç performans analizinin giriş enerjisini oluşturan rüzgâr enerjisinin ölçümü için kullanılacak meteoroloji direği IEC 61400-12-1 standardı ölçütleri referans alınarak gerçekleştirilmiştir. İzlenen yol genel hatları ile aşağıdaki gibidir:

1. Rüzgâr enerjisinin giriş değişkenlerinin ölçülmesi için Bölüm 2.1'de verilen analiz eşitliklerine bağlı olarak algılayıcı ve transmitterler tespit edilmiştir.
2. Laboratuvar ortamında rüzgâr enerjisi giriş değerlerinin ölçülmesi için PLC tabanlı SCADA donanımı kurulmuş ve yazılımları yazılmıştır. Yazılımların çalışması model üzerinde denenmiş ve görülen aksaklıklar giderilmiştir.
3. PLC tabanlı SCADA sistemi Çankırı Karatekin Üniversitesinin yeni yerleşim yeri olan ve sürekli olarak rüzgâr alan 880 m rakımlı Uluayazı Kampüsünde 5 m'lik bir meteoroloji analiz kulesi ile Mühendislik Fakültesi binasının üzerine kurulmuştur.

### 2.1. Rüzgâr Enerjisi ve SWT'lerden Elde Edilebilecek Güç İçin Eşitlikler

Rüzgâr türbinlerinin giriş değişkeni rüzgârın kinetik enerjisidir. SWT'lerin enerjisini sağlayan ve atmosferde sürekli hareket halinde bulunan rüzgâr belirli bir kütleyle ve kinetik enerjiye sahiptir. Bu nedenle rüzgâr enerjisi analizlerinin yapılması için türbinlerle birlikte değerlendirmek daha verimli olacaktır. Rüzgârın anlık gücü aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$



burada,  $P_r$  rüzgâr anlık gücü (W),  $\rho$  hava yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $A$  rüzgârın ilerleme yönüne dik kesit alanı ( $\text{m}^2$ ) ve  $v$  rüzgâr hızıdır ( $\text{m/sn}$ ). Anlık rüzgâr gücünün tamamı türbinlerde elektrik enerjisine çevrilmez. Türbinlerde elektrik enerjisine çevrilen güç miktarı:

$$P_t = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2)$$

ile ifade edilir. Burada,  $P_t$  türbin gücü (W),  $C_p$  türbinin güç sabiti ve  $A$  ( $A = \pi \cdot R^2$ ) rotor dönüşü sırasında kanatların süpürdüğü alan ( $\text{m}^2$ ),  $R$  türbin kanat süpürme yarıçapıdır (m). Güç sabiti değeri türbin kanatlarının en uç noktasındaki lineer hız ( $u$ ) ve kanatlara çarpan rüzgâr hızının ( $v$ ) bir fonksiyonudur  $C_p = f(u/v)$ .  $u/v$  oranı kanat uç hız oranı (tip speed ratio – TSR) olarak da isimlendirilir ve  $\lambda$  ile gösterilir. Eğer türbinden elde edilen gücün maksimum olması isteniyorsa, rotor dönüş hızının rüzgâr hızına göre ayarlanıp bu oranın sürekli olarak  $\lambda = \lambda_{opt}$  en iyi değerinde tutulması gerekir. Bu durumda türbinin güç sabiti en yüksek değerine ulaşır. TSR:

$$\lambda = u/v = \omega_t R/v = 2\pi n(\text{rpm})/60v \quad (3)$$

ile ifade edilir.  $\omega_t$  türbin mekanik kanat açısal hızıdır ( $\text{rad/sn}$ ).  $\omega_t \cdot R$  ise türbin kanat ucu doğrusal hızıdır ( $\text{m/s}$ ). Türbin mekanik kanat açısal hızı, frekansa  $f$  (Hz,  $1/\text{s}$ ) bağlıdır ve  $\omega_t = 2\pi \cdot f$  ile ifade edilir. Ayrıca türbin mekanik kanat açısal hızı, türbin dönüş hızının bir fonksiyonu olarak da;  $\omega_t = 2\pi \cdot n/60$  ifadesiyle de tanımlanabilir. Burada  $n$  türbin dönüş hızıdır ( $\text{dev/dk}$ , rpm) ve  $f = n/60$ 'tır ( $\text{dev/sn}$ ). Türbinin kalıcı mıknatıslı senkron jeneratör (PMSG) kutup sayısına bağlı olarak devir  $n = 60f/2P$  ile ifade edilir. Burada  $2P$  PMSG'nin çift kutup sayısıdır. Bir türbinin güç sabiti değeri rüzgâr hızıyla değişir. Bu nedenle türbinin verimi en iyi  $C_p$ - $\lambda$  eğrisiyle ifade edilir. Türbinin güç sabiti aşağıdaki eşitlikle:

$$C_p = \frac{P_t}{P_r} = \frac{I \cdot V}{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3} \quad (4)$$

verilir. Burada,  $I$  ve  $V$  değerleri, sırasıyla, türbinden sağlanan akım (A) ve gerilimdir (V). Türbinin bulunduğu ortamda hava yoğunluğu sabit olduğu sürece, rüzgârın hızına bağlı olarak hava akımı bir kinetik enerjiye sahiptir. Rüzgâr olmadığında hava akımının kinetik enerjisi sıfırlanır. Eğer sabit bir hızla akan rüzgâr varsa, bu durumda rüzgârın kullanılabilir kinetik enerjisi:

$$E_{kin} = \frac{v^2}{2} \quad (5)$$

ile ifade edilir. Burada,  $E_{kin}$  rüzgârın kinetik enerjisidir (J). Türbinin etkisi altında kaldığı rüzgârın gücünü belirlemek için, birim zamanda türbinin rotoru boyunca geçen havanın kütle akış miktarının bilinmesi gerekir. Birim zamanda akan havanın kütlesi  $\dot{m}$  ( $\text{kg/s}$ ) aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v \quad (6)$$

Burada  $A \cdot v$  ifadesi havanın hacimsel akış oranıdır ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Böylece, türbinin bulunduğu ortamdaki rüzgârdan elde edilebilecek en yüksek güç aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$P_r = \dot{m} \cdot E_{kin} \quad (7)$$

Bugün pek çok türbin, %20–40 arası bir verimle çalışarak rüzgârın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirmektedir. Kinetik enerji mekanik enerjinin bir formudur ve böyle olması nedeniyle tamamen çalışma enerjisine çevrilebilir. Bu nedenle, bir sistemin kinetik enerjisinin ekserjisi veya çalışma potansiyeli çevrenin sıcaklık ve basıncına bakılmaksızın kendi kinetik enerjisine eşittir.

Türbinde giriş gücünü etkileyen diğer bir değişken de türbinin kurulmuş olduğu yükseklikteki hava yoğunluğudur. ISA (International Standard Atmosphere) şartlarında, deniz seviyesinde +15 °C sıcaklıkta ve 1013,25 mb (1 mb = 98 Pa, 1 atm = 101300 Pa) atmosfer basıncında, havanın yoğunluğu 1,225 kg/m<sup>3</sup>'tür. Deniz seviyesinden yükseldikçe hava yoğunluğu ve atmosfer basıncı azalır. Dolayısıyla türbin tarafından üretilen güçte de azalan hava yoğunluğu ve atmosfer basıncına göre azalma olur. Türbinin kurulduğu alandaki havanın birim hacimdeki yoğunluğu aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\rho = \frac{P}{287.T} \quad (8)$$

burada,  $P$  havanın atmosfer basıncı (Pa), 287 sabit değeri hava için gaz sabiti (j/kg.k),  $T$  Kelvin cinsinden ortam sıcaklığıdır (°C + 273,12 = K). Türbinlerin yıllık enerji üretimlerinin (YEÜ) hesaplanmasında değişik yazılımlar kullanılabilir. Türbin YEÜ için, türbin güç eğrisinin ve kurulan alana ait yıllık rüzgâr hızı olasılık dağılımının bilinmesi gerekir. Türbin güç eğrisi analizlerle elde edilir. Yıllık rüzgâr hızı dağılımının elde edilmesi için Weibull ve Rayleigh olmak üzere iki olasılık dağılım fonksiyonu kullanılır. Weibull olasılık dağılım fonksiyonu:

$$hw(v) = \frac{k}{A} \cdot \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^k} \quad (9)$$

ile ifade edilir [17]. Burada;  $hw(v)$  Weibull yıllık rüzgâr hızı olasılık dağılım fonksiyonu,  $k$  rüzgâr hızı dağılım şeklini gösteren parametre (şekil parametresi),  $A$  rüzgâr hızı için bağıl birikmiş frekanstır (ölçek parametresi). Weibull rüzgâr hızı olasılık dağılım fonksiyonunda şekil  $k$  ve ölçek  $A$  parametresi gibi iki bilinmeyen vardır. Bunları bulmak için analitik ve deneysel eşitlikler kullanılır.

Rayleigh rüzgâr hızı olasılık dağılım fonksiyonu ise:

$$h_R = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{v}{v_{mean}} \cdot e^{-\left[\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{v}{v_{mean}}\right)^2\right]} \quad (10)$$

ile ifade edilir. Burada;  $h_R$  Rayleigh rüzgâr hızı olasılık dağılım fonksiyonu ve  $v_{mean}$  ise türbin kurulduğu arazinin ortalama rüzgâr hızıdır (m/s). Rayleigh dağılımı ortalama rüzgâr hızı  $v_{mean}$  gibi tek bir bilinmeyene sahiptir.

Sonunda, türbinin yıllık üreteceği toplam elektrik enerjisi miktarı:

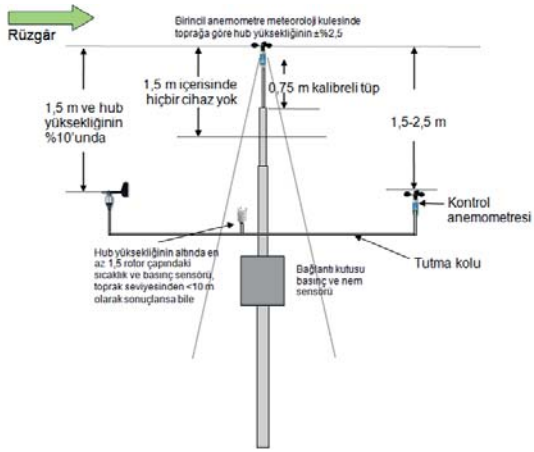
$$E = \int_{v_{min}}^{v_{max}} P_t \cdot f(v) \cdot t \cdot dv \quad (11)$$

eşitliğiyle bulunur [13]. Burada;  $E$  YEÜ miktarı (kWh),  $v_{min}$  türbinin elektrik enerjisi üretmeye başladığı rüzgâr hızı,  $v_{max}$  türbinin elektrik enerjisi üretimini emniyet için sonlandırdığı rüzgâr hızı,  $f(v)$  rüzgâr hızı dağılım fonksiyonu ve  $t$  ise bir yıllık saat olarak zamandır.

## 2.2. Meteoroloji Analiz Değerinin Kurulması

Çankırı Karatekin Üniversitesi Uluyazı Kampüsü Çankırı'nın hâkim tepelerinden birinde düzlük bir zemine kurulmuştur. Dolayısıyla rüzgârın herhangi bir nedenle engellenme durumu söz konusu değildir ve bu bölge fazlasıyla rüzgar almaktadır.





(a)



(b)

**Şekil 1. (a)** Sensörlerin meteoroloji direğine yerleşim ölçüleri ve **(b)** kurulan meteoroloji direği

Rüzgârın gelmesinde herhangi bir engelleme olmaması, zeminin düz ve tepede olması ve meteoroloji direğinin de binanın üzerine kurulacak olması nedenleriyle kulenin yüksekliği 5 m olarak tasarlanmıştır. Meteoroloji direğinin kurulumunun ölçüleri **Şekil 1a**'da verilmiştir.

Meteoroloji direği borulu kule tipinde ve paslanmazdan yapılmıştır. 2 kademe kalınlığa sahiptir. Herhangi bir arıza meydana geldiğinde rahat sökülebilmesi için ikinci katmanda bulunan boru birinci katmandaki borunun içerisine girebilecek şekilde seçilmiştir. Dolayısıyla kurulum kolaylıkla sağlanabilmektedir. Kurulan meteoroloji direği **Şekil 1b**'de verilmiştir.

Bölüm 2.1'deki eşitliklerde bulunan ve SWT'lerin giriş enerjisini oluşturan rüzgârın enerjisi değişkenlerini ölçmek için **Tablo 1**'deki algılayıcılar ve çeviriciler **Şekil 1b**'de gösterilen meteoroloji direğine yerleştirilmiştir.

Meteoroloji kulesinin üzerine iki tane anemometre, rüzgâr yön ve nem algılayıcısı yerleştirilmiştir. Bu algılayıcıların bağlantılarının gerçekleştirilmesi için bir tane bağlantı kutusu meteoroloji direğine monte edilmiştir. Atmosfer basıncı algılayıcısı alt bağlantı kutusunun içerisine monte edilmiştir. Bu bağlantı kutusunda bulunan tüm sensör kabloları bir odada toplanmıştır.

Meteoroloji kulesine yerleştirilen algılayıcıların düzenlemesi bir rüzgâr türbin testi için önemlidir. Özellikle, anemometre direk ve üst bölge etkilerinden etkilenmeyecek ve rüzgâr akış bozulmasını minimize edecek şekilde yerleştirilmiştir.

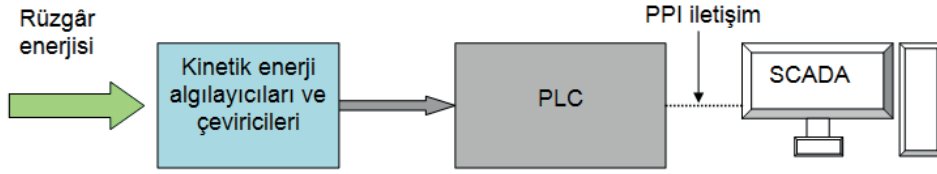
**Tablo 1.** SWT giriş enerjisi değişkenleri, kullanılan algılayıcılar ve çeviriciler

Rüzgâr değişkenleri	Algılama elemanları
Kule hava sıcaklığı	HT-2 Gentek göstergeli sıcaklık ve nem transmitteri
Kule havanın nemi	HT-2 Gentek göstergeli sıcaklık ve nem transmitteri
Kule rüzgârın yönü	Gentek rüzgâr yönü transmitteri 4-20 mA
Kule rüzgâr hızı	Gentek rüzgâr hızı transmitteri 4-20 mA (İki adet)
Atmosfer basıncı	Gentek atmosfer basınç ölçüm transmitteri 4-20 mA

Diğer nem, basınç, sıcaklık algılayıcıları hub yüksekliğine yakın ve anemometrelerin rüzgâr hızını bozmayacak şekilde yerleştirilmiştir. En üstteki anemometre aynı çaplı, içerisinde kabloları bulunduran yuvarlak dikey paslanmaz boru üzerine monte edilmiştir. Diğer algılayıcılar tepedeki anemometrenin 1,5 m aşağısına monte edilmiştir. Sıcaklık ve basınç sensörleri hub yüksekliğine yakın bir yerde ikincil kontrol anemometresini tutan kolun üzerinde daha sonradan kurulması düşünülen türbin yüksekliğini geçmeyecek şekilde montajlanmıştır. Sıcaklık algılayıcısı bir radyasyon koruyucusu içerisinde yerleştirilmiştir. Basınç algılayıcısının ise su koruyucu bir kılıf içerisinde yerleşimi yapılmıştır.

### 2.3. PLC Tabanlı SCADA Sisteminin Kurulması

Şekil 1b’de kurulumu gerçekleştirilen sistem de, rüzgârın kinetik enerji verileri algılayıcılar yardımıyla algılanmış ve PLC donanımına iletilmiştir. Rüzgârın kinetik enerjisi hesabının PLC ve SCADA programlarında yapılmasında ortam sıcaklığı, atmosfer basıncı ve rüzgâr hızı değişkenleri gerekmektedir. Bu kurulum vasıtasıyla tüm bu veriler bilgisayar ortamına alınmıştır. Kurulan sistemin genel blok şeması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Kurulan sistemin genel blok şeması

Elde edilen ve hesaplanan tüm veriler PLC ve bilgisayar üzerindeki SCADA yazılımı arasında kurulan noktadan noktaya arayüz (PPI) iletişimi aracılığıyla SCADA yazılımına iletilmiştir. SCADA yazılımı sayesinde rüzgârın kinetik enerjisine ait giriş verileri görselleştirilmiş ve kayıt altına alınmaya başlanmıştır. Şekil 3’de ise gerçekleştirilmiş PLC tabanlı meteoroloji SCADA sisteminin genel bir görünümü sunulmuştur.



Şekil 3. PLC tabanlı meteoroloji SCADA sisteminin genel bir görünümü

Gerçekleştirilen sistemde meteoroloji direğinde bulunan transmitter sinyallerinin S7-200 CPU224XP DC/DC/DC PLC’de anlamlı değerlere dönüştürülebilmesi için genişleme modülü EM 235 kullanılmıştır. EM 235 modülü ile meteoroloji direğinden gelen 4 tane analog sinyal PLC CPU’suna aktarılmıştır. Bu modülün giriş kalibrasyonları üzerlerinde bulunan anahtarlar ve trimpotlar yardımıyla 0–20 mA ayarı yapılmıştır.

Ayrıca CPU224XP DC/DC/DC PLC üzerinde bulunan A ve B iki kanal analog girişler de kullanılarak yeni bir genişleme modülünün kullanımına gerek duyulmamıştır. Bu kanallar gerilim girişli kanallar olduğu için de transmitterlerden gelen 4–20 mA standart değerleri PLC üzerindeki A ve B bağlantı kanallarına 500  $\Omega$  dirençler eklenilerek bu sinyaller 2–10 VDC gerilim sinyallerine dönüştürülmüştür. PLC ve genişleme modülünde bulunan analog giriş kanallarının transmitter giriş değişkenleri **Tablo 2**’de verilmiştir.

**Tablo 2.** PLC ve genişleme modülü üzerindeki analog girişler ve değişkenleri.

Analog girişler	Değişkenler	Elektriksel sinyal
AIW0	Hava basıncı	2–10 VDC
AIW2	Rüzgâr yönü	2–10 VDC
AIW4	Nem	0–20 mA
AIW6	Sıcaklık	0–20 mA
AIW8	Rüzgâr hızı 1	0–20 mA
AIW10	Rüzgâr hızı 2 (kule üzerinde)	0–20 mA

#### 2.4. PLC Yazılımı

Kurulan sistemde kullanılan Siemens PLC için Micro Win 4.0 versiyonlu PLC yazılım programı kullanılmıştır. Analog giriş kanallarına gelen rüzgârın kinetik enerjisi ile ilgili elektriksel sinyaller ilk olarak bu yazılımda Word büyüklüğündeki değişkenlere Tablo 2'deki gibi kaydedilmiştir. Bu Word içindeki dijital verinin reel sayı formatına çevrilmesi için Word, Double Word'e, sonra reel sayıya çevrilmiştir. Reel sayı formatındaki değer ölçeklendirme çarpanı ile ölçeklendirilerek gerçek değere çevrilmiştir.

#### 2.5. SCADA Yazılımı

PLC'de işlenen verileri saklamak, kaydetmek, görselleştirmek ve grafiğini çizdirmek için FULTEK WinTr SCADA yazılımı kullanılmıştır. Bu program sayesinde meteoroloji direğinden alınan PLC'ye aktarılan ve burada işlenen tüm veriler görselleştirilebilmiştir. Hatta bu program sayesinde bilgisayar ortamında meteoroloji verilerinin 2019 yılına kadar kayıt edilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca bu verilerin kullanılan program sayesinde Excel ortamına veya pdf ortamına aktarılması mümkün olmaktadır. Tablo 2'de kullanılan değişkenler PLC'de işlendiğinde en son aktarılan değişken adresleri Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** PLC'de işlenen verilerin en son aktarıldığı adresler

Analog girişler	Değişkenler	Son değişken adresi
AIW0	Hava basıncı	VD124
AIW2	Rüzgâr yönü	VD216
AIW4	Nem	VD312
AIW6	Sıcaklık	VD412
AIW8	Rüzgâr hızı 1	VD512
AIW10	Rüzgâr hızı 2 (kule üzerinde)	VD612

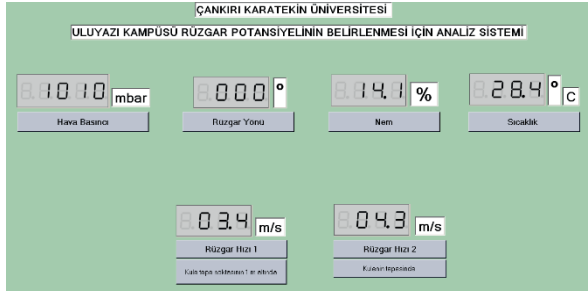
**Tablo 3**'deki bu veriler WinTr SCADA programında noktalı değişkenler olarak tanıtılmış ve kayıt edilmesi seçeneği programda işaretlenmiştir. Tümü historical yapılan bu değişkenler **Şekil 4**'deki gibi görselleştirilmiş ve kayıt altına alınmaya başlanılmıştır. Değişkenler için sayısal değerlerin gösterildiği, sayısal ve göstergelerin olduğu ve yalnızca grafiklerinin çizildiği SCADA sayfaları **Şekil 4a, b** ve **c**'deki gibi hazırlanmıştır. SCADA grafikler sayfasında bir bar çubuk yerleştirilmiş ve onunla yatay ekseninde gösterilecek aralık ayarlanabilmiştir.

### 3. ALINAN SONUÇLAR VE TARTIŞMA

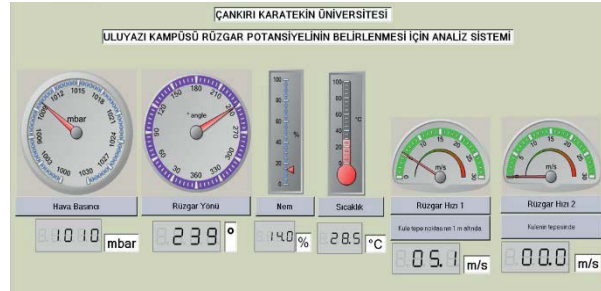
Gerçekleştirilen PLC ve SCADA yazılımları sayesinde meteoroloji direğinde bulunan algılayıcıların şimdiye kadar alınan değerleri **Şekil 4c**'de SCADA sayfası olarak verilmiştir. 2016 yılı Mart ve Nisan ayları arasındaki yaklaşık bir aylık bir zamanı kapsamaktadır. Bu alınan verilere göre Uluyazı Kampüsü nem değeri yaklaşık olarak %20 ile %80 aralığında ölçülürken, atmosfer basıncı da 1008-1015 mbar arasında değişim göstermiştir. Bu atmosfer basıncı değeri 1000 gibi bir değer olduğu için, diğer değerler grafikte fazla etkilemesin diye aynı grafikte gösterilmemiştir. Sıcaklık değeri geceleri en az yaklaşık 2°C civarına düşerken en yüksek sıcaklık değeri olarak da öğle vakitlerinde yaklaşık 27°C olarak ölçülmüştür.

Rüzgâr türbinlerinin kurulumlarında dikkat edilen en önemli göstergelerden biri olan rüzgâr hızında ise değişim yaklaşık olarak 22 m/s değerine kadar olmuştur. Bu değer yağmur öncesinde gerçekleşen bir fırtınada alınan değerdir. Bu rüzgâr hızı verileri uzun vadeli olarak toplandıktan sonra, analiz ve tahmin programları kullanılarak değerlendirilecektir. Verilerin alındığı günlere dikkat edildiğinde rüzgâr hızı öğle ve öğleden sonraki vakitlerde, artarken sabah ve gece vakitlerinde alınan değerler yaklaşık 1 m/s değerlerine kadar düşmüştür. Hatta hiç rüzgâr hızının olmadığı zamanlar grafiğe kaydedilmiştir.

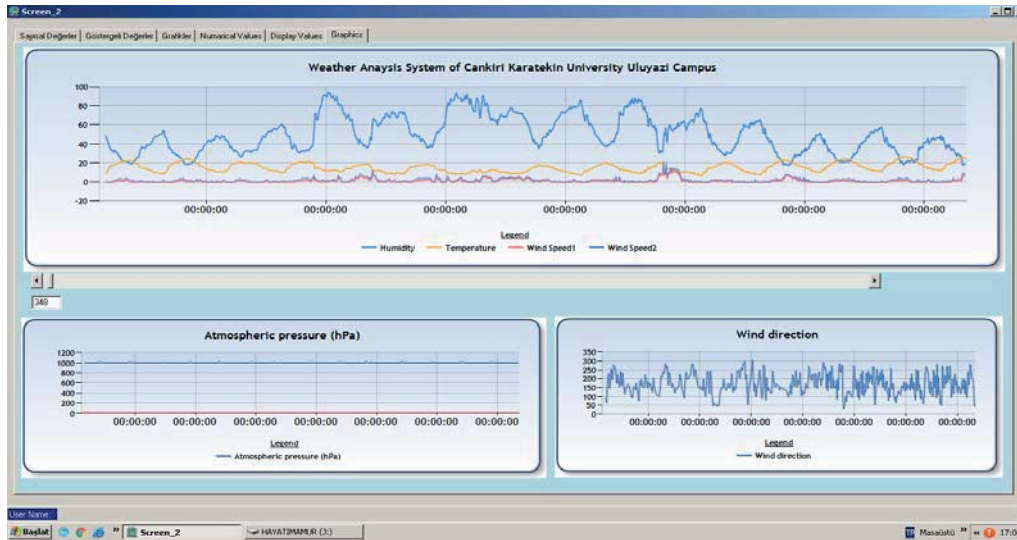
Bu verilerin uzun süreli saklanması sayesinde, alınan verilerdeki artış bunların daha iyi değerlendirilmesi olanağını sunacaktır. Elde edilen veriler sayesinde ileride Uluyazı kampüsünün yıllık rüzgâr hızı dağılım grafiği çıkarılabilecektir. Ayrıca diğer atmosfer basıncı, nem, sıcaklık ve rüzgâr yönü istatistiklerinin çıkarılması da gerçekleştirilebilecektir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. (a) Sayısal göstergeler sayfası, (b) sayısal ve gösterge değerleri sayfası ve (c) proje gerçekleştirilmesine kadar alınan meteoroloji direği verileri grafiklerinin SCADA sayfası

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bir hava analiz sisteminde bulunması gereken tüm sensörler, küçük rüzgâr türbinleri için IEC 61400-12-1 güç performans test standardı referansına göre, Çankırı Karatekin Üniversitesi Uluyazı Kampüsü Mühendislik Fakültesi binasının çatısına kurulan meteoroloji direği sayesinde yerleştirilmiştir. Bu verilerin hepsi bir PLC yardımıyla işlenmiş ve FULTEK WinTr SCADA yazılımıyla da kayıt altına alınmaya başlanılmıştır. Bu sistem ile şimdiye kadar 2016 yılı Mart-Nisan ayları arasında yaklaşık bir aylık meteorolojik veriler kaydedilmiş ve kesintisiz bir şekilde kaydedilmeye devam edilmektedir. Alınan verilere bağlı olarak, Çankırı'nın Mart ve Nisan aylarında aldığı rüzgâr hızına dikkat edilirse anlamlı bir rüzgâr hızının elde edildiği ölçümler sonucunda görülmüştür. Ama bu rüzgâr hızının bu hızlardan daha yüksek hızlara ulaşması, Çankırı ilinin rüzgâr hızı dağılımı düşünüldüğünde, fırtınalı günler haricinde pek öngörülmemektedir. Çünkü rüzgâr hızları İlkbahar ve Sonbahar aylarında Çankırı'da yüksek olmaktadır.

Bu rüzgâr hızı verilerinin biriktirilmesi Uluyazı Kampüsünün yıllara göre rüzgâr hızı dağılımının belirlenmesine olanak sağlayacaktır. Bunun yanı sıra bu meteoroloji direği ve ilave ekipmanlar ile bu sistemin küçük rüzgâr türbinlerinin güç

performans analizlerinin yapılmasını sağlayabilecek bir formata kavuşturulması bilimsel araştırma birimine sunulması düşünülen bir başka proje ile gerçekleştirilecektir.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çankırı Karatekin Üniversitesi Proje Yönetim Birimi tarafından MF 050315B14 nolu proje ile desteklenmiştir.

## REFERANSLAR

B. Dursun, C. Gokcol, "Impacts of the renewable energy law on the developments of wind energy in Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 40, pp. 318-325, 2015.

E. Erdogdu, "On the wind energy in Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.13, pp. 1361-1371, 2009.

K. Kaygusuz, "Wind energy status in renewable electrical energy production in Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.14, pp. 2104-2112, 2010.

R. T. Ogulata, "Energy sector and wind energy potential in Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.7, pp. 469-484, 2003.

Ö. P. Arslan, Y. Arıkan, M. Y. Erten, E. Çam, "Kırıkkale Üniversitesi'ne kurulacak olan rüzgar türbini için enerji ve maliyet analizinin yapılması," *Kırıkkale Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, vol. 6, pp. 1-5, 2014.

A. Oztopal, A. D. Sahin, N. Akgun, Z. Sen, "On the regional wind energy potential of Turkey," *Energy*, vol.25, pp. 189-200, 2000.

M. Tukenmez, E. Demireli, "Renewable energy policy in Turkey with the new legal regulations," *Renewable Energy*, vol.39, pp. 1-9, 2012.

I. Yuksel, H. Arman, "Energy and environmental policies in Turkey," *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, vol.9, pp. 57-69, 2014.

H. Mamur, "Design, application, and power performance analyses of a micro wind turbine," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol.36, pp. 1-19, 2014.

H. Mamur, I. Topaloglu, F. Korkmaz, M. Ari, İ. Atacak, "Design and experimental analysis for reduction of cogging torque by pole shifting in permanent magnet synchronous generator," *Elektronika ir Elektrotehnika*, vol.20, pp. 39-43, 2014.

H. Mamur, M. Ari, F. Korkmaz, I. Topaloglu, , "The importance of supervisory control and data acquisition systems for wind turbines," in *Proc. of the UNITEC'13*, vol.1, pp. 121-126, 2013.

O. Arslan, "Techno economic analysis of electricity generation from wind energy in Kutahya, Turkey," *Energy*, vol.35, pp. 120-131, 2010.

S. A. Akdag, O. Guler, "Evaluation of wind energy investment interest and electricity generation cost analysis for Turkey," *Applied Energy*, vol.87, pp. 2574-2580, 2010.

C. Ilkilic, "Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.16, pp. 1165-1173, 2012.

C. Ilkilic, H. Aydin, R. Behcet, "The current status of wind energy in Turkey and in the world," *Energy Policy*, vol.39, pp. 961-967, 2011.

<http://www.eic.gov.tr/YEKrepa/CANKIRI-REPA.pdf> (26.3.2016 tarihinde ulaşıldı).

I. Colak, S. Sagiroglu, M. Yesilbudak, "Data mining and wind power prediction: a literature review," *Renewable Energy*, vol.46, pp. 241-247, 2012.

I. Colak, S. Sagiroglu, M. Demirtas, M. Yesilbudak, "A data mining approach: analyzing wind speed and insolation period data in Turkey for installations of wind and solar power plants," *Energy Conversion and Management*, vol.65, pp. 185-197, 2013.

H. Yumak, T. Ucar, S. Yayla, "Wind energy potential on the coast of Lake Van," *International Journal of Green Energy*, vol.9, pp. 1-12, 2012.

B. Yuksel, E. Ates, "Determining Balıkesir's energy potential using a regression analysis computer program," *Journal of Renewable Energy*, vol.?, pp. 1-8, 2014.

- F. Kose, M. H. Aksoy, M. Ozgoren, "An assessment of wind energy potential to meet electricity demand and economic feasibility in Konya, Turkey," ,” *International Journal of Green Energy*, vol.11, pp. 559-576, 2014.
- L. Ozgoren, "Investigation of wind energy potential of Muradiye in Manisa, Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.14, pp. 3232-3236, 2010.
- N. Y. Aydin, E. Kentel, S. Duzgun, "GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: a case study from Western Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.14, pp. 364-373, 2010.
- A. Demiroren, U. Yilmaz, "Analysis of change in electric energy cost with using renewable energy sources in Gokceada, Turkey: an island example," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.14, pp. 323-333, 2010.
- B. Dursun, C. Gokcol, "Economic analysis of a wind-battery hybrid system: an application for a house in Gebze, Turkey, with moderate wind energy potential," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol.20, pp. 319-333, 2012.
- C. Acikgoz, "Renewable energy education in Turkey," *Renewable Energy*, vol.36, pp. 608-611, 2011.
- A. Karabulut, E. Gedik, A. Kecebas, M. A. Alkan, "An investigation on renewable energy education at the university level in Turkey," *Renewable Energy*, vol.36, pp. 1293-1297, 2011.
- E. Toklu, "Overview of potential and utilization of renewable energy sources in Turkey," *Renewable Energy*, vol.50, pp. 456-463, 2013.
- Y. Karatepe, S. V. Nes, A. Kecebas, M. Yumurtaci, "The levels of awareness about the renewable energy sources of university students in Turkey," *Renewable Energy*, vol.44, pp. 174-179, 2012.
- I. Colak, R. Bayindir, G. Fulli, I. Tekin, K Demirtas, C. F. Covrig, "Smart grid opportunities and applications in Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.33, pp. 344-352, 2014.
- K. Baris, S. Kucukali, "Availability of renewable energy sources in Turkey: current situation, potential, government policies and the EU perspective," *Energy Policy*, vol.42, pp. 377-391, 2012.
- M. Durak, Z. Sen, "Wind power potential in Turkey and Akhisar case study," *Renewable Energy*, vol.25, pp. 463-472, 2002.
- S. Kucukali, C. Dinckal, "Wind energy resource assessment of Izmit in the West Black Sea Coastal Region of Turkey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.30, pp. 790-795, 2014.





## Akaryakıt Sektörü için Metamalzeme Tabanlı Sensör Tasarımı ve Uygulaması

### Metamelike Based Sensor Design and Application for Fuel Sector

Furkan DİNÇER<sup>1</sup>, Kemal DELİHACIOĞLU<sup>1</sup>, Mehmet Ali TÜMKAYA<sup>2</sup>, Muharrem KARAASLAN<sup>2</sup>, Cumali SABAH<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, TÜRKİYE

<sup>3</sup> Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kuzey Kıbrıs  
Kampüsü, Kalkanlı, Güzelyurt, TRNC/Mersin 10, Türkiye

Başvuru/Received: 29/01/2017

Kabul/Accepted: 16/04/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Metamalzemelerin sinyal emilimi, anten, sensör, süper lens vb. birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Bu çalışmada ise metamalzemelerin sensör alanındaki önemli uygulamalarından birine değinilmiştir. Bu uygulama, akaryakıt sektörüne yönelik olup markası belirli ve markası belirli olmayan benzin ve mazot numunelerinin tespiti için metamalzeme tabanlı sensör tasarımıdır. Akaryakıt numuneleri için deneysel çalışma gerçekleştirilmiş olup bu veriler simülasyona girilerek buna uygun sensör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Böyle bir çalışma diğer sektörler için de örnek teşkil ederek daha farklı sensör tasarımlarının yapılmasına da imkân sağlayacaktır.

#### Anahtar Kelimeler

“Metamalzeme, sensör, benzin, mazot“

#### Abstract

Metamaterials have many application areas such as absorber, antenna, sensor, super lens and etc. In this study, we focused on sensor application of metamaterials. This application is metamaterial based sensor design in order to find branded and unbranded gasoline - diesel samples for liquid fuel sector. So, experimental setup is realized for branded and unbranded gasoline-diesel samples. Obtained measurement values entered to simulation programme to get optimal design. Such a study would be an example for other sectors to realize different sensor designs.

#### Key Words

“Metamaterial, sensor, petrol, diesel”



## 1. GİRİŞ

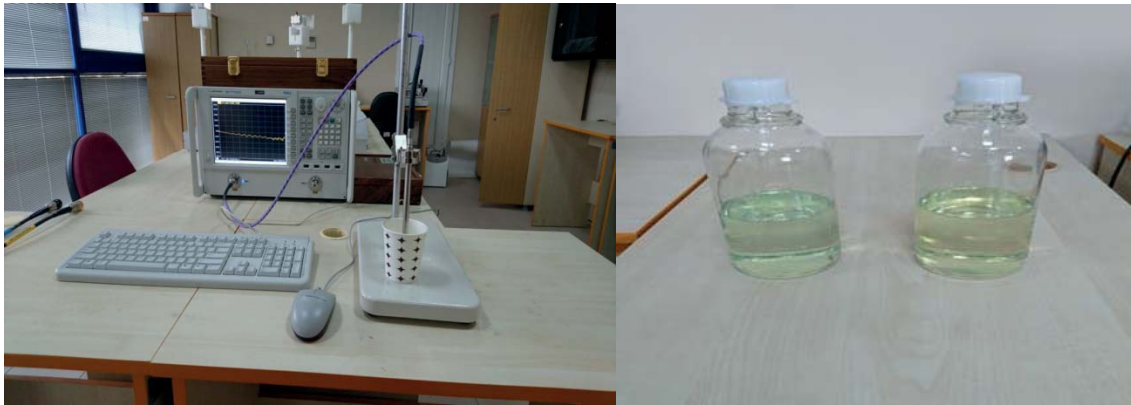
Metamalzemeler, doğada bulunmayan ve geleneksel olmayan elektromanyetik özellikler gösteren malzemelerdir. Negatif dielektrik sabiti ve manyetik geçirgenliğe sahip olan malzemeler düşüncesi teorik olarak ilk 1968 yılında Veselago tarafından ortaya konulmuştur (Veselago, 1968). Teorik olarak ortaya konulan bu çalışma araştırmacılar tarafından maalesef uzun yıllar ilgi görmemiştir. 90'lı yılların sonu ve 2000'li yılların başlarında Pendry ve ark., Shelby ve ark. (Pendry vd. 1996, Smith vd. 2000, Shelby vd. 2001) tarafından deneysel olarak incelenmiş ve daha sonra bilim dünyası tarafından çok sayıda çalışma yapılarak büyük ilgi görmüştür. Günümüzde metamalzemeler ile ilgili çok sayıda önemli uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Bunlar; sinyal emiciler (Dincer vd. 2014a, Sun vd. 2011, Sabah vd. 2014, Dincer vd. 2014b), sensörler (Karaaslan ve Bakır 2014), antenler (Hwang vd. 2009, Vrba vd. 2016, Zhou vd. 2011), vb. (Gunduz ve Sabah 2015, Turkmen vd. 2013, Ustunsoya ve Sabah 2016, Mullaa ve Sabah 2017).

Bu çalışmada metamalzemelerin sensör uygulaması üzerine bir tasarım ve uygulama gerçekleştirilmiştir. Günümüzde güncel olarak kullanılan benzin ve mazot gibi akaryakıt ürünleri üzerine gerçekleştirilen bu çalışma için markası belirli ve belirli olmayan benzin ve mazot numunelerinin elektromanyetik özellikleri deneysel olarak analiz edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada numunelere ait dielektrik ve kayıp tanjant parametreleri elde edilmiştir. Bunun için laboratuvarında bulunan Keysight PNA-L N5234 Network Analizörü ve Dielektrik Ölçüm Kiti kullanılmıştır. Çalışma frekansı olarak X band frekans aralığı seçilmiştir. Daha sonra 3D Elektromanyetik Simülasyon kullanılarak metamalzeme sensör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Deneysel veriler programa girilerek, malzemenin oluşturduğu S parametreleri ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Tasarım çalışması içerisinde belirgin rezonans farkının yakalanabilmesi ve tespiti için metamalzeme sensör tasarımı parametrik olarak çalıştırılmıştır. Elde edilen bulgular, sonuç ve değerlendirme bölümünde detaylı olarak analiz edilmiştir.

## 2. AKARYAKIT NUMUNELERINE AIT DENEYSEL ÇALIŞMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Metamalzeme tabanlı sensör yapısının tasarlanabilmesi için öncelikle X band frekans aralığında numunelere ait dielektrik ve kayıp tanjant değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu değerler, deneysel çalışma ile elde edilmiştir. Bu bölümde, akaryakıt numunelerine ait deneysel çalışma detaylı olarak gerçekleştirilmiştir. Sonrasında elde edilen bu veriler programa girilerek sensör yapısının tasarlanması amaçlanmıştır.

Deneysel çalışma için Keysight PNA-L N5234 Network Analizörü ve Dielektrik Ölçüm Kiti kullanılmıştır. Network Analizör 43,5 GHz frekans değerine kadar ölçüm yapabilmektedir. Şekil 1'de deneysel çalışmaya ait görüntüler verilmiştir. Keysight PNA-L N5234 Network Analizörü ve Dielektrik Ölçüm Kiti ile X band içerisinde numunelere ait dielektrik ve kayıp tanjant değerleri elde edilmiştir.



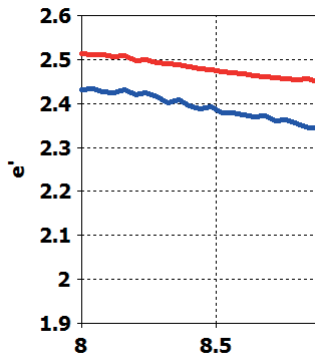
Şekil 1. Deneysel çalışmaya ait görünüm (a) ölçüm düzeneği ve (b) numuneler

Akaryakıt numunelerine ait ölçüm işlemi sonrasında, kite ait bir yazılım ile markalı ve markasız akaryakıt örneklerinin dielektrik ve kayıp tanjant değerleri elde edilmiştir. Bu değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Bu çalışmalar markalı ve markasız benzin ve mazot numuneleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca Şekil 2 ve 3'te sırasıyla benzin ve mazot numunelerine ait dielektrik değerlerinin X band (8-12 GHz) frekans aralığındaki davranışları gösterilmektedir. Şekil 2 ve 3 incelendiğinde, markalı ve markasız numuneler arasında belirgin bir dielektrik değer farkı olduğu görülecektir. Sensör tasarımında bu değer farkı, rezonans frekansına da etki edecektir. Reel dielektrik sabitleri markalı benzin ve markası belirli olmayan benzin için 10 GHz frekans

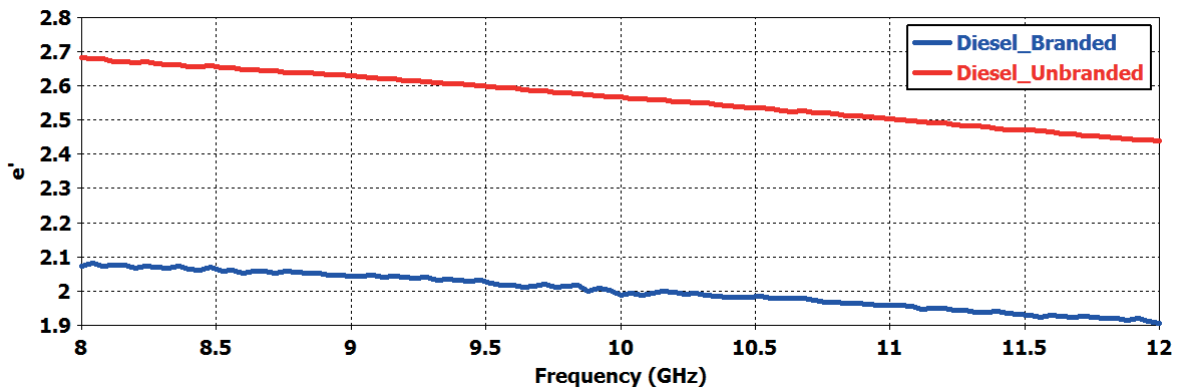
değerinde 2.19 ve 2.33'tür. Bu değerler, markalı mazot ve markası belirli olmayan mazot için 10 GHz frekans değerinde 1.98 ve 2.56'dır.

**Tablo 1.** Markalı ve markasız akaryakıt örneklerinin dielektrik ve kayıp tanjant değerleri

Frekans (GHz)	Reel Dielektrik Değerleri ( $\epsilon$ )			
	Benzin (markalı)	Benzin (markasız)	Mazot (markalı)	Mazot (markasız)
8	2.43	2.51	2.07	2.68
9	2.32	2.44	2.04	2.62
10	2.19	2.33	1.98	2.56
11	2.08	2.24	1.95	2.50
12	1.96	2.15	1.90	2.43
Frekans (GHz)	Loss Tangent Değerleri (Tang. $\delta$ )			
	Benzin (markalı)	Benzin (markasız)	Mazot (markalı)	Mazot (markasız)
8	0.34	0.23	0.15	0.16
9	0.39	0.27	0.17	0.19
10	0.43	0.30	0.20	0.21
11	0.47	0.32	0.22	0.24
12	0.51	0.35	0.23	0.25



**Şekil 2.** Markalı ve markasız benzin numunelerine ait 8-12 GHz frekans aralığındaki dielektrik değerlerinin değişimi

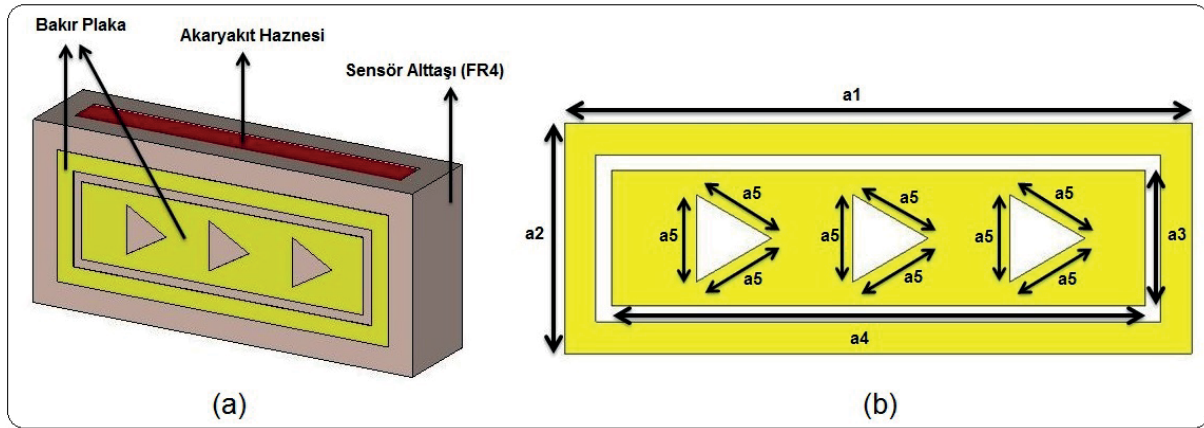


**Şekil 3.** Markalı ve markasız benzin numunelerine ait 8-12 GHz frekans aralığındaki dielektrik değerlerinin değişimi

### 3. AMAÇLANAN SENSÖR UYGULAMASI İÇİN METAMALZEME TASARIMININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Amaçlanan metamalzeme tabanlı sensör birim hücre yapılarından oluşmaktadır. Materyal yapısında dielektrik için FR4 kullanılmıştır. Çünkü; FR4 ucuz, düşük dielektrik kayıp değerine sahip ve rahatlıkla bulunabilen bir dielektriktir. Seçilen FR4 cinsi malzeme 1.6 mm kalınlık, 4.2 dielektrik geçirgenlik, 1 manyetik geçirgenlik ve 0.02 kayıp tanjant değeri özelliklerine sahiptir. Rezanatör için ise metal kısım bakır ile yapılmıştır. Bakır;  $5.8001 \times 10^7 S / m$  elektriksel iletkenliğe sahiptir. Tasarlanan sensörün rezanatör kalınlığı 0.035 mm'dir. Şekil 4(a) ve 4(b) sırasıyla, amaçlanan metamalzeme sensör tasarımı ve yapıya ait boyutların genel bir görünümünü göstermektedir. Sensör tasarımının yapılabilmesi için FIT tabanlı 3D elektromanyetik simülasyon

kullanılmıştır. Yapı boyutlarının X band içerisinde optimum sonuçlar verebilmesi için program parametrik olarak çalıştırılmıştır. Elde edilen ölçüler;  $a_1= 20$  mm,  $a_2= 7,3$  mm,  $a_3= 4,3$  mm,  $a_4= 17$  mm,  $a_5= 2,77$  mm.

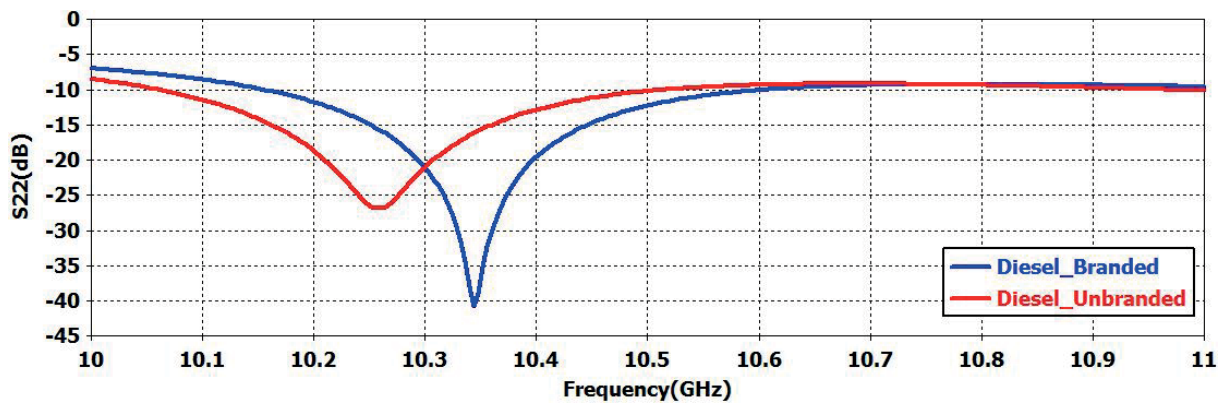


Şekil 4. Amaçlanan metamalzeme tabanlı sensör yapısı (a) yapının 3 boyutlu genel görünümü (b) rezonatöre ait ölçüler

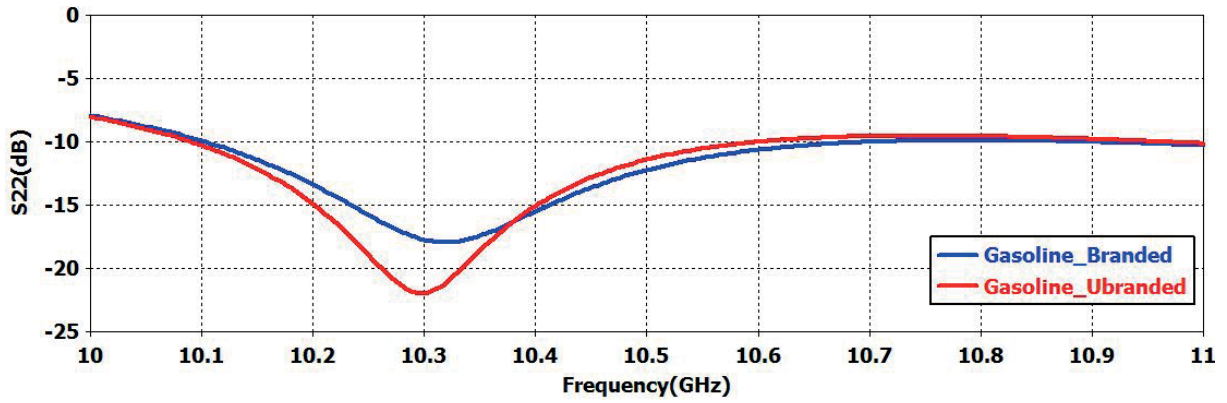
#### 4. TASARLANAN METAMALZEME TABANLI SENSÖR YAPISI İÇİN ELDE EDİLEN NÜMERİK SONUÇLAR

Bu bölüme kadar, markası belirli ve markası belirli olmayan benzin ve mazot numunelerine ait deneysel dielektrik ve kayıp tanjant değerleri X band frekans aralığında elde edilmiştir. Ardından, elde edilen bu değerler 3D Elektromanyetik Simülatöre girilerek FIT tabanlı çözüm yaptırılarak metamalzeme tabanlı bir sensör yapısı tasarlanmıştır.

Bu bölümde tasarlanan bu yapı için nümerik sonuçlar markası belirli ve markası belirli olmayan benzin ve mazot numuneleri için ayrı ayrı elde edilmiştir. Şekil 5'te markası belirli ve markası belirli olmayan mazot numuneleri için  $S_{22}$  (dB) parametresi değerleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; markası belirli olan mazot numunesi 10.34 GHz frekans değerinde rezonans gösterirken, markası belirli olmayan mazot numunesi 10.26 GHz frekans değerinde rezonans göstermiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere rezonans değerleri arasında 80 MHz kadar farklılık bulunmaktadır. Ayrıca, dB değerlerinde de farklılık meydana gelmiştir. Şekil 6'da markası belirli ve markası belirli olmayan benzin numuneleri için  $S_{22}$  (dB) parametresi değerleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; markası belirli olan benzin numunesi 10.32 GHz frekans değerinde rezonans gösterirken, markası belirli olmayan mazot numunesi 10.29 GHz frekans değerinde rezonans göstermiştir.



Şekil 5. Markası belirli ve markası belirli olmayan mazot numunelere ait nümerik sonuç değerleri



Şekil 6. Markası belirli ve markası belirli olmayan benzin numunelere ait nümerik sonuç değerleri

## 5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bilindiği üzere 5607 sayılı Kaçakçılıkla Mücadele Kanunu 15 Temmuz 2014 tarihinde yenilenme suretiyle tekrar oluşturulmuştur. Denetlemeler ve belirleme işlemleri her ne kadar bastırıcı ve konu üzerinde önlem alıcı faaliyetler olsa da; 2013 yılında 17.422.557 litre (Emniyet Genel Müd.) ve 2014 yılında 157 milyon lira değerinde kaçak akaryakıt ele geçirildiği belirtilmektedir (Gümrük ve Tic. Bakanlığı). Meclis Araştırma Komisyonu raporunda da iki yılda tespit edilen kaçak akaryakıtın miktarı 7 milyon 800 bin ton olarak teyit edilmiş, vergi kaybı ise 10 milyar 700 bin TL olarak tespit edilmiştir. Kaçak akaryakıtın ülke ekonomisi yanında araçlarda oluşturduğu hasarlarda son derece ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Özellikle motor kısmında oluşturduğu tahribatlar araçların ömürlerine etki etmekte, salınan egzoz gazları sonucunda çevreyi de olumsuz etkilemektedirler. Bundan ötürü bu konuda yapılan ve yapılacak olan çalışmalar büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada; markası belirli ve markası belirli olmayan benzin ve mazot numunelerine ait deneysel dielektrik ve kayıp tanjant değerleri X band frekans aralığında elde edilmiştir. Ardından, elde edilen bu değerler 3D Elektromanyetik Simülatöre girilerek FIT tabanlı çözüm yapılarak metamalzeme tabanlı bir sensör yapısı tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yapı için nümerik sonuçlar markası belirli ve markası belirli olmayan benzin ve mazot numuneleri için ayrı ayrı elde edilmiştir. Elde edilen nümerik sonuçlarda markası belirli ve belirli olmayan benzin ve mazot numunelerine ait rezonans değerlerinde tasarlanan sensör yapısı için farklılık olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılık, markalı ve markasız akaryakıt numunelerinin tespiti için önemlidir. Ek olarak; farklı rezonatör yapıları tasarlanarak daha iyi sonuçlar verebilecek metamalzeme tabanlı sensörler tasarlanabilir ve geliştirilebilir.

## 6. AÇIKLAMA

Bu çalışma Dr. Furkan DİNÇER'in yürütücü olduğu, 115E788 numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir.

## 7.REFERANSLAR

Dincer, F., Akgol, O., Karaaslan, M., Unal, E., & Sabah, C. (2014a). Polarization angle independent perfect metamaterial absorbers for solar cell applications in the microwave, infrared, and visible regime. *Progress In Electromagnetics Research*, 144, 93–101.

Dincer, F., Karaaslan, M., Unal, E., Delihacioglu, K., & Sabah, C., (2014b). Design of polarization and incident angle insensitive dual-band metamaterial absorber based on isotropic resonators, *Progress In Electromagnetics Research*, 144, 123–132.

Gunduz, O. T., & Sabah, C., (2015). Polarization angle independent perfect multiband metamaterial absorber and energy harvesting application. *J. Comp. Electronics*, doi:10.1007/s10825-015-0735-8.

Hwang, R. B., Liu, H. W., & Chin, C. Y., (2009). A metamaterial-based e-plane horn antenna, *Progress In Electromagnetics Research*, 93, 275-289.

Karaaslan, M., & Bakir, M., (2014). Chiral metamaterial based multifunctional sensor applications. *Prog Electromagn Res.*, 149, 55–67.

Mullaa, B., & Sabah, C., (2017). Multi-band metamaterial absorber topology for infrared frequency regime, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 86, 44–51.

- Pendry, J. B., Holden, A. J., Stewart, W. J., & Youngs, I. (1996). Extremely low frequency plasmons in metallic mesostructures. *Phys Rev Lett.*, 76, 4773–4776.
- Sabah C., Dincer F., Karaaslan M., Unal E., Akgol O., & Demirel E., (2014). Perfect metamaterial absorber with polarization and incident angle independencies based on ring and cross-wire resonators for shielding and a sensor application. *Opt Comm.*, 322, 137–142.
- Shelby, R. A., Smith, D. R., & Schultz S. (2001). Experimental verification of a negative index of refraction. *Science.*, 292, 77–79.
- Smith, D. R., Padilla, W. J., Vier, D. C., Nemat-Nasser, S. C., & Schultz, S. (2000). Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity. *Phys Rev Lett.*, 84, 4184–4187.
- Sun, J., Liu, L., Dong, G., & Zhou, J., (2011). An extremely broad band metamaterial absorber based on destructive interference. *Opt. Express* 19, 21155–21162.
- Turkmen, O., Ekmekci, E., & Sayan, G. T., (2013). Effects of using different boundary conditions and computational domain dimensions on modeling and simulations of periodic metamaterial arrays in microwave frequencies, *Intern. Jour of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 23, 459–465.
- Ustunsoya, M. P., & Sabah, C., (2016). Dual-band high-frequency metamaterial absorber based on patch resonator for solar cell applications and its enhancement with graphene layers, *Journal of Alloys and Compounds*, 687, 514–520.
- Veselago, V. G. (1968). The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$ . *Soviet Phys Uspekhi*. 47, 509–514.
- Vrba, D., Rodrigues, D. B., Vrba Jr. J., & Stauffer, P. R., (2016). Metamaterial antenna arrays for improved uniformity of microwave hyperthermia treatments," *Progress In Electromagnetics Research*, 156, 1-12.
- Zhou, B., Li, H., Zou, X., & Cui, T. J., (2011). Broadband and high-gain planar vivaldi antennas based on inhomogeneous anisotropic zero-index metamaterials, *Progress In Electromagnetics Research*, 120, 235-247.





## Farklı Mesafe ve Açılarda RF Yayılımına Maruz Kalan İnsan Kafasındaki Sıcaklık ve Özgül Soğurma Oranı Dağılımı

### Temperature and Specific Absorption Rate Distribution in the Human Head Exposed to RF Propagation at Different Distances and Angles

Fulya ÇALLIALP KUNTER\*<sup>1</sup>, Funda CIRIK ACIKAYA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34722 İSTANBUL;TURKEY

Başvuru/Received: 20/04/2017

Kabul/Accepted: 10/06/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Bu makale, insan kafası içerisinde elde edilen özgül soğurma oranı (ÖSO) ve cep telefonlarındaki elektrik alan maruziyetinin sebep olduğu ısı etkileri sunmaktadır. 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında yayılım yapan cep telefonları mikrostrip patch anten ile modellenmiş ve çıkış güçleri olabilecek en kötü durum senaryosuna göre seçilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) tabanlı COMSOL Multiphysics yazılım programı yardımıyla, kafa modelindeki ÖSO ve sıcaklık dağılımları üzerinde, sadece anten ile kafa modeli arasındaki mesafenin etkisi değil, aynı zamanda kafaya göre antenin açısının etkisi de incelenmiştir. Çalışmada gösterilmiştir ki, antenin kafaya göre mesafe ve açısının, kafadaki ÖSO değerleri ve sıcaklık artışında önemli bir etkisi vardır. Benzetim sonucunda, ÖSO değerlerinin 900 MHz’de güvenlik sınır değerlerinin altında iken 1800 MHz’de antenin kafadan olan uzaklığı 0,2 cm olduğunda sınır değerlerinin altında olduğu bulunmuştur. Buna ek olarak, kafadaki sıcaklık artışının diğer yapılan çalışmalarla oldukça uyumlu olduğu not edilmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“Biyotermal Denklemi, Elektromanyetik Alan Maruziyeti, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Özgül Soğurma Oranı”

#### Abstract

This paper presents specific absorption rate (SAR) obtained inside a human head and the thermal effects due to exposure to a cellular phone. The cellular phone radiating at 900 MHz and 1800 MHz frequencies was modeled by microstrip patch antenna and its output power was chosen according to the worst-case scenario. By the aid of finite element method (FEM) based COMSOL Multiphysics software program, not only the effect of distance between the antenna and the head model but also the effect of antenna’s angle relative to the head on SAR and the temperature distribution in the head model were investigated. It was shown in the study that the distance and the angle of the antenna to the head had significant importance on the SAR values and the temperature increase in the head. As a result of the simulation, it was found that SAR values at 900 MHz were under the safety limit values whereas at 1800 MHz were under the limits when the distance between the antenna and the head was 0.2 cm. Furthermore, it was noted that the temperature increase on the head was in good agreement with the other studies.

#### Key Words

“Bioheat Equation, Electromagnetic Field Exposure, Finite Element Method, Specific Absorption Rate.”

## 1. GİRİŞ

Günümüzde yaşadığımız konutlarda ve iş yerlerinde, modern haberleşme araçlarını oldukça sık kullanıyoruz. Mikrodalga frekanslarında çalışan telsiz bağlantılı haberleşme sistemleri, farklı çoklu medya içeriklerini iletmek üzere hızlıca geliştirilmeye devam etmektedir. Bütün bu donanımların ortak özellikleri iyonize olmayan ışınım kaynakları olmasıdır. İlerleyen teknoloji ile birlikte, bu kaynakların insan sağlığına olan etkisinin getireceği riskler de gündemi oldukça meşgul etmektedir.

İnsanlardan uzakta konumlandırılan baz istasyonlara kıyasla, cep telefonları insan vücuduna en yakın kullanılan elektromanyetik (EM) ışınım kaynaklarıdır. Özellikle genç nüfus arasında bu kadar yoğun kullanım, sağlık etkilerine ilgiyi arttırmaktadır. Bu nedenle ICNIRP (International Commite on Non- Ionising Radiation Protection) Uluslararası İyonlaştırılmayan Radyasyon Koruma Komitesi, WHO (World Health Organization) Dünya Sağlık Örgütü, IRPA (International Radiation Protection Association) Uluslararası Radyasyondan Koruma Kurulu başta olmak üzere birçok ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşlar, insan vücudunda EM ışımadan kaynaklı oluşabilecek ısı artışının sağlığa zararlı etkilere yol açmayacağı sınır değerleri yayınlamışlardır.

Telsiz haberleşmede kullanılan frekans aralığında biyolojik dokular, kayıplı dielektrik olarak düşünülebilir. Özgül soğurma oranı (ÖSO), biyolojik dokuların dielektrik özelliklerini ve indüklenen elektrik alanla ilgili bilgileri içerdiğinden, insan vücudundaki elektromanyetik alan (EMA) etkileşimini ölçen en önemli değişken olarak bilinir ve güvenlik yönetmelikleri de sınır değerlerini ÖSO ile verirler. Konuşma sırasında, cep telefonlarındaki ışınım, en çok insan kafasını etkilemektedir. Konuyla ilgili yapılan ilk çalışmalarda, radyo vericilerinin insan kafasındaki ÖSO ve sıcaklık değişimleri deneysel yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. 1978 yılında, çok yüksek frekansta çalışan taşınabilir radyo vericilerini helix anten ile modelleyerek, kafadaki sıcaklık dağılımları 0.010C duyarlılığa sahip sayısal termometre ile ölçülmüştür (Balzano vd.). Cleveland vd., ultra yüksek frekansta çalışan taşınabilir radyo vericilerine maruz kalan insan kafasındaki alanı, izotropik elektrik alan probu ile ölçüp ÖSO değerlerini matematiksel hesaplamalarla buldular. Teknoloji ilerlemeye başladıkça, analog cep telefonlarındaki radyo frekans vericilerine maruz kalan insan kafasındaki ÖSO değerleri ölçülmeye başlandı. Anderson vd., üç farklı cep telefonuna maruz kalan insan kafasındaki elektrik alan dağılımlarını, modelin içine yerleştirilebilen elektrik alan probu ile ölçmüştür. Çalışmada, farklı telefon modelleri ve farklı anten konumları için göz ve beyindeki ÖSO değerleri, ölçümleri alınan elektrik alan değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. 2014'te Atılğan vd., 900 MHz, 1800 MHz, 2450 MHz frekansları için ÖSO değerleri, elektrik alan değerleri sıcaklık artış miktarlarını hesaplamış, elektrik alanın nüfus eden deri kalınlıkları incelenmiştir. 2450 MHz için beklenen sıcaklık artışı gözlemlenememiş, çocuklar için farklı sonuçlar elde edilebileceğinden sınır değerlerinin çocuklar için ayrıca belirtilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır.

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, biyolojik dokulardaki EM dalga benzetimlerini yapabilmek ve gerçekçi doku modelleri için hesaplamalı sayısal teknikler kullanılmaya başlanmıştır. Çok sayıda sayısal yöntem olmakla birlikte, biyolojik doku çalışmalarında, kolaylığı ve etkin olmasından dolayı en çok kullanılan zaman düzleminde sonlu farklar (ZDSF) yöntemidir. Dimbylow vd., çalışmasında sırasıyla 600 MHz'den 3 GHz'e kadar frekans aralığı için beyin, kemik/yağ, kas, deri, kan, hava, göz dokusu, lens ve sklera bölümlerini katmanlarını içeren gerçekçi bir anatomik insan kafa modeliyle, yetişkin ve yeni doğan bebeklerin kafasındaki ÖSO değerlerini ZDSF yöntemiyle hesaplamışlar, 1993'te 900 MHz ve 1900MHz'deki ışınımın etkilerini yarım dalgaboylu dipol anten kullanarak, 1994'te ise 900 MHz ve 1800 MHz için çeyrek dalgaboylu monopol anten ile aynı çalışmayı tekrarlamışlardır. Bu çalışmalarda, telsiz haberleşme cihazları ile insan kafası arasındaki etkileşimin, anten tipi, dokunun elektriksel sabit değerleri, kafa modelinin geometrisi, cihazın konumu gibi çeşitli maruziyet durumlarına bağlı olduklarını göstermişlerdir.

1994 yılında, 835 MHz çalışma frekanslı cep telefonlarının sebep olduğu EM alan ışınımına maruz kalan insan kafasının homojen olmayan modeli için, ZDSF yöntemiyle akım ve ÖSO dağılımları hesaplanmıştır (Chen vd.). Cep telefonu dipol anten ile modellenen çalışmada, kafa modeli ise homojen olmayan dielektrik sabit ve iletkenlik ile 57 263 blok hücre ile modellenmiştir. Antenin kafadan 2 cm uzaklıkta konumlandırıldığı zaman güvenli bölge içerisinde olduğu görülmüştür. 1996 yılında ise aynı sayısal yöntem kullanılarak ve daha gerçekçi bir insan kafası modeli ve gerçekçi bir anten modeli ile çalışma tekrarlanmıştır. ¼ dalgaboylu monopol anten ve ½ dalgaboylu dipol anten kullanılarak ÖSO dağılımları arasındaki fark incelenmiş ve antenin kafadan uzaklıklarına göre benzetimleri yapılmış ve karşılaştırmaları yapılmıştır (Watanabe vd.). 1999'da Wang vd., 900 MHz ve 1.5 GHz frekanslarında taşınabilir telefonlarını, dielektrik kaplı metal kutunun üzerine yerleştirilmiş çeyrek dalgaboylu monopol anten olarak modelleyerek, biyofiziksel denklemi ZDSF yöntemiyle çözerek kafadaki sıcaklık artışını ve ÖSO hesaplamalarını yapmıştır.

2000 yılında Hui vd., EM ışınımına taşınabilir telefonlara maruz kalan insan kafa modelinde ZDSF yöntemini kullanarak ÖSO karakteristiğinin benzetimlerini farklı frekanslar için gerçekleştirdiler. Çalışmada; kafa modeli, homojen ve heterojen insan beyni ve göz yuvarlağı olmak üzere iki bölümde incelenerek ÖSO dağılımları verilmiştir. Nikita vd. ise 2000 yılında küresel katmanlı kafa modeli ile sonlu uzunluktaki bir dipol anten arasındaki etkileşimi incelemek amacıyla yardımcı kaynaklar methodu (MAS-method of auxiliary sources) ile Green fonksiyonu methodunun birleştirilmesini temel alan bir çalışma yayınlamıştır. ZDSF kod tabanlı SEMCAD adlı yazılım kullanılarak da kafadaki ÖSO dağılımı Ahma vd. tarafından hesaplanmıştır.

Lee vd., 2002 yılında 835 MHz ve 1765 MHz frekanslarında, Adel vd. 2010 yılında 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında, ÖSO karakteristiğinde kafa boyutunun etkilerini incelemiş ve daha büyük kafa boyutlarında daha düşük ÖSO değerleri tesbit



etmişlerdir. 2010'da, ZDSF yöntemiyle, farklı tip anten modellerinin (monopol, helix, patch ve PIFA antenleri) her birinin davranışını, kafadan olan uzaklıkla (0 – 20 mm) ilişkisi incelenmiştir (Rashed vd.).

ZDSF yöntemi, kolaylığı nedeniyle çok tercih edilmesine rağmen, sonlu elemanlar yöntemi (SEY) diğer yöntemlere kıyasla elektrik ve manyetik alanların hesaplanmasında daha karmaşık geometri ve sınır koşullarında daha yakın yaklaşımlar sağlar. 2002 yılında SEY kullanılarak kafa modeli tek ve üç tabakalı olmak üzere modellenerek ÖSO değerleri hesaplanmıştır (Şeker vd.). Morega vd. 2010 yılında SEY kod tabanlı COMSOL yazılımı kullanılarak ÖSO'yu değerlendirmiş, kafadan olan uzaklık ve telefonun konumları değiştirilerek benzetimlerini yapmış ve kendi yaptıkları deneysel çalışmalarla sonuçları karşılaştırmıştır. Aynı yazılım kullanılarak; 2012'de Çitkaya vd. ve 2013'te Abdulrazzaq vd. 900 MHz ve 180 MHz frekanslarında uzaklığın etkisi dikkate alarak ÖSO'yu incelemiş ve sınır değerleriyle karşılaştırmışlardır. Çalışmaların sonucunda, kaynakla kafa arasındaki mesafe arttıkça ÖSO değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Nagarjuna vd. 2014'te monopol ve patch anten ile telefonu modelleyerek cep telefonuna maruz kalan insan kafasını laboratuvar ortamında ve SEY ile hesaplayarak sonuçları karşılaştırmışlardır. Pšenáková vd. 2015'te 2.4 GHz frekansında radyo frekans yayınının insan kafasında yarattığı elektrik alan dağılımının modellemesini ve benzetimlerini yaptılar. 2016 yılında Raimondas vd., COMSOL yazılımıyla, 900 MHz, 1800 MHz ve 2100 MHz mobil frekansları için cep telefonlarını 2W, 1W, 0.8 W, 0.25 W, 0.125W güçte yayınım yapan yarım dalga boylu dipol antenlerle modelleyerek elektrik alan değerlerini ölçmüştür ve sonuç olarak en yüksek elektrik alan değerlerinin yüksek güç, daha büyük ÖSO değerleri ve düşük frekanslı cep telefonlarıyla ilişkilendirildiğini göstermişlerdir.

Goel vd. 2014 yılında SEY ile 900 MHz ve 1800 MHz için anten – kafa uzaklık ilişkisi incelemiştir. Stankovic vd. ise kafadaki cep telefonunun sebep olduğu elektrik alan dağılımı ve ÖSO değerlerini, SEY' i kullanarak iki farklı insan kafası modeli üzerinde hesapladılar. Birinci modelde, insan kafasındaki biyolojik dokuların EM parametreleri, verilen dokunun karakteristiğini tahmin eden hacimsel interpolasyon fonksiyonu ile modellenmiştir. İkinci modelde ise, deri, yağ dokusu, kaslar, iskelet ve beyin gibi insan kafasının parçaları katman olarak modellenmiştir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, farklı kafa modelleri, boyutları ve anten tipleri incelenmiştir. Yazarın cep telefonlarının göz üzerindeki etkilerini incelediği üç boyutlu ve axisimetrik çalışmalarıyla beraber kafa üzerindeki çalışmaları da burada sunulmuştur (Stankovic vd., Kunter vd.). Bu makalenin amacı, kafadaki ÖSO ve sıcaklık değişimlerinin, günlük hayatımızda kullandığımız cep telefonlarının kafaya olan mesafe ve tutuş açısı ile nasıl değiştiğini irdelemektir. Bu çalışmada, ZDSF yönteminden daha doğru sonuçlar veren, düzgün olmayan sınır değerleri için de uygulanabilen, üç ve çok boyutlu problemlerde üçgenlerle kısıtlanmayan eğri yüzeyleri de tahmin edebilen SEY kullanılmıştır. Çalışma frekansları 900 MHz ve 1800 MHz olan cep telefonları mikrostrip patch anten ile modellenerek ve SEY kod tabanlı COMSOL yazılım programı ile insan kafasının içindeki ÖSO ve sıcaklık değişimlerinin benzetimleri yapılmıştır. Benzetimlerde kullanılan doku parametrelerinin ve sayısal değerlerinin, karşılaştırma yapılacak çalışmalarla aynı seçilmesine özen gösterilmiştir.

## 2. TEORİK BİLGİ

Biyolojik doku EM dalga ışınımına maruz kaldığında, dalga dokuya nüfuz eder ve dalga enerjisinin bir kısmı dokunun içinde soğrulur. İçerideki enerjiyle birlikte sıcaklık artar ve sonuç olarak ısı enerji yayılır. Bu ısı artış etkisinin ölçüsü, ÖSO, birim ağırlık başına EM enerjinin soğrulma oranı olarak tanımlanır (W/kg). ÖSO, Denklem 1'de verildiği gibi, insan vücudundaki elektrik alan şiddeti E (V/m), biyolojik dokunun elektriksel iletkenliği  $\sigma$  (S/m) ve kütle yoğunluğu  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) ile hesaplanır.

$$SAR = \sigma \frac{E^2}{\rho} \quad (1)$$

ÖSO'nun hesaplanması sadece, EM enerjinin dokuya girme derinliği 1 cm veya daha fazla olduğu 100 kHz ve 6-10 GHz frekans aralıkları için anlamlıdır (Hirata vd.).

Biyolojik doku tarafından yutulan enerji termal enerjiye dönüşür ve bu dönüşüm dokularda sıcaklık artışına sebep olur. Biyolojik dokulardaki ısı transferinin ve sıcaklık oluşumunun analizini yapmak kullanılan biyolojik ısı transfer denklemi aşağıdaki gibidir (Bernardi vd.).

$$\rho c \frac{dT}{dt} = \nabla(k\nabla T) + \rho C_b \omega_b (T_b - T) + Q_{met} + Q_{ext} \quad (2)$$

Burada,  $\rho$  doku yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>),  $k$  ısı iletkenlik katsayısı (W/m.K),  $C_b$  özgül ısı kapasitesi (J/kg.K),  $Q_{met}$  metabolizmik ısı (W/m<sup>3</sup>),  $Q_{ext}$  dışarıdan gelen ısı (W/m<sup>3</sup>),  $\omega_b$  kan akım oranı (1/s),  $Q_{ext}$  dışarıdan gelen ısı (W/m<sup>3</sup>) terimi soğrulan EM güce eşittir.

Biyolojik dokuların karakteristiklerini tanımlayabilmek için gerçek dokulara yakın modeller yaratmak önemlidir. Gerçek biyolojik dokular homojen ve doğrusal değildir. İnsan vücudu çok çeşitli organlardan oluşmuş olsa da, her bir organ veya doku, modelleme işlemlerinde, maruz kalınan frekans değerlerine göre homojen ve doğrusal olan uygun EM parametreleriyle tanımlanabilir. 900 MHz ve 1800 MHz frekans değerleri için kafadaki kan dokusu ve beyin için parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** İnsan kafa dokularının EM özellikleri.

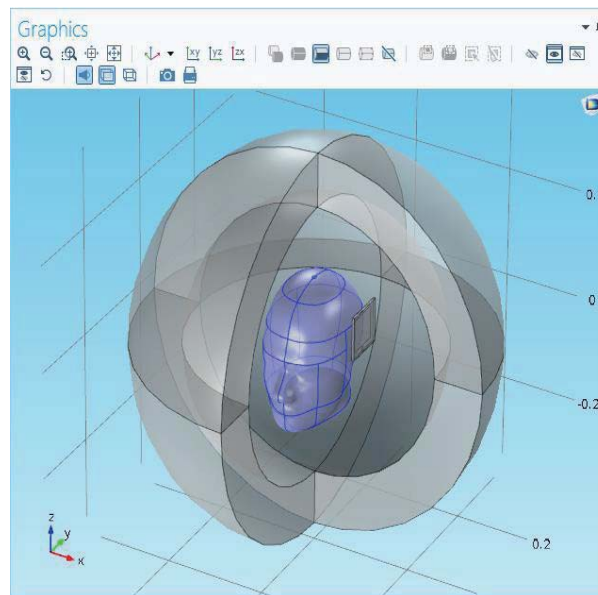
Parametre	900 MHz	1800 MHz
Beyin dokusunun geçirgenliği	52,72	50,08
Beyin dokusunun iletkenliği [S/m]	0,94	1,39
Beyin dokusunun yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]	1030	1030
Kanın ısı kapasitesi [J/(kg*K)]	3639	3639
Kanın yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]	1000	1000

Yapılan çalışmalarda elde edilen bulgulara göre (Nikita vd.) vücut dokusunda bir derece sıcaklık artışının meydana gelebilmesi için kilogram doku başına 4 W EM güç yutulumu gereklidir. ICNIRP temel sınır değer olarak 24 saat yaşanan, insanların bulunduğu yerler için 0.08 W/kg ÖSO değeri, günün belirli saatlerinde bulunulan iş yerleri gibi yerler için ise 0.4 W/kg ÖSO değeri olarak düzenlenmiştir (ICNIRP Guidelines). Elektrik alan cinsinden sınır değerler ise, 900 MHz ve 1800 MHz GSM sistemleri için sırasıyla, 42 V/m ve 59 V/m (güç yoğunluğu olarak 4.5 W/m<sup>2</sup> ve 9 W/m<sup>2</sup>) olarak belirlenmiştir (ICNIRP Guidelines).

### 3. İNSAN KAFASININ VE ANTENİN SAYISAL MODELİ

Standartlarda verilen ÖSO sınır değerleri, radyo frekansına maruz kalan özgül insan benzeri bir model (SAM, Specific Anthropomorphic Mannequin) kullanılarak verilmiştir (Faruque vd., Al-Mously vd., Beard vd.). Geometrisi ve doku özellikleriyle, maruziyet değerlendirmelerinde yetişkin kafa modeli olarak korunumlu bir yaklaşım sağlar. SAM, 20 yaş üzeri Amerikan askerlerinin yüzde 90'ı baz alınarak yapılmıştır. Kafa homojen bir iç yapısına sahiptir ve içine, gerçek insan kafa sıvısıyla aynı fiziksel özellikte sıvı konularak modellenebilmektedir.

SEY tabanlı COMSOL yazılımında oldukça önemli olan doğru bir geometrinin seçilmesi oldukça önemli olmasından dolayı, bu çalışmada, IEEE, ICNIRP ve WHO'nun yayınladığı sınır değerlerinde kullanılan Şekil 1'de de gösterilen SAM kafa modeli kullanılmıştır (ICNIRP Guidelines, IEEE Standard, WHO Fact Sheet). Sonuçların literatür ve standartlarla karşılaştırılabilmesi için doku dielektrik parametreleri de standartlarda verildiği gibi kullanılmıştır.

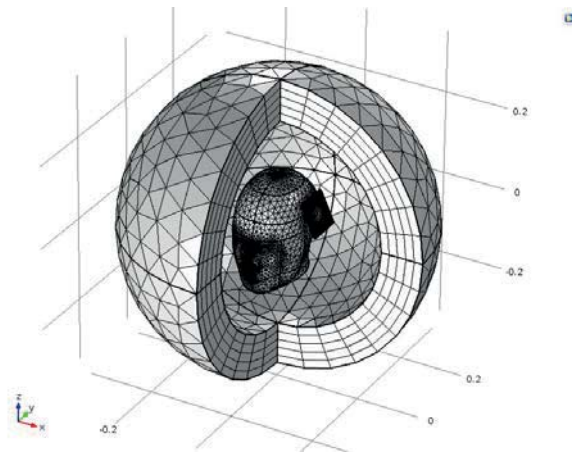


### Şekil 1. SAM ve anten modeli.

Serbest uzayda yarım dalgaboylu dipol veya metal kutunun üzerine yerleştirilmiş çeyrek dalgaboylu monopol gibi basitleştirilmiş telefon antenleri, literatürde oldukça sık kullanılmıştır. Bu antenler günümüzde cep telefonlarında kullanılmadığı için insan kafasındaki etkilerini tartışmak uygun olmayacaktır. Günümüzde daha çok PIFA, helix, ve patch antenler kullanılmaktadır. Mikrostrip patch antenler, ucuz olmaları, boyut olara küçük ve hafif olmaları, düşük güç kapasiteli, geliştirilmiş sistem güvenilirliği, büyük ölçekli üretimi olmasından dolayı önemli avantajları vardır. Bu avantajlarından dolayı çalışmamızda, cep telefonu modeli olarak mikrostrip patch anten seçilmiştir.

900 MHz ve 1800 MHz GSM frekanslarında gerçekleştirilen benzetimlerde, antenin çıkış güçleri, IEEE C95.3 standartında en kötü durum için belirtilen 1 W olarak alınmıştır (IEEE Standard). Çalışmada, elle tutularak konuşulan cep telefonlarının kafaya olan mesafe ve tutuş açısı ile ÖSO ve sıcaklık değişimlerine etkilerini incelemek amaçlanmıştır. Her bir benzetim, mikrostrip patch anteni farklı uzaklık ve farklı açılarda yerleştirilerek tekrar edilmiştir. Benzetim sonuçlarında insan kafa dokusunda EM dalga maruziyeti sonucu oluşan sıcaklık değişimlerini ve ÖSO GSM frekansları için elde edilmiş, literatürdeki benzer çalışmalar ve uluslararası sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Benzetimi yapılan Şekil 1’ de verilen kafa ve anten modelinin SEY örüntüsü Şekil 2’ deki gibi oluşturulmuş, benzetim örüntülü model üzerinde yapılmıştır. Mikrostrip patch anteninin tasarımı yapılarak kafanın sol tarafına minimum uzaklıkta yerleştirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, SAM kafa modeli 19 alt alandan, anten ise 20 alt ana bölümden oluşurken kafayı çevreleyen hava da hesaba katılarak tekli veya çoklu soğurmalarla göre o da alt ana bölümlerden oluşturulmuştur.



Şekil 2. SAM ve anten modelinin SEY örüntüsü.

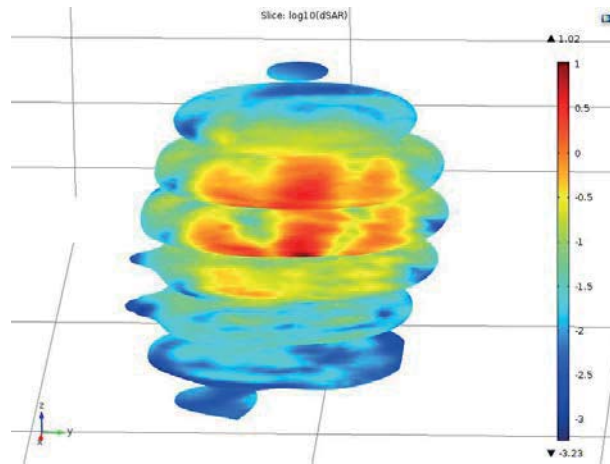
## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Geometrilerin hazırlanması, parametrelerin yazılıma girilmesi, sınırların ve alt ana bölümlerin belirlenmesiyle modelleme adımları sonlu elemanlar tabanlı yazılımda tamamlandıktan sonra benzetimlere başlanmıştır.

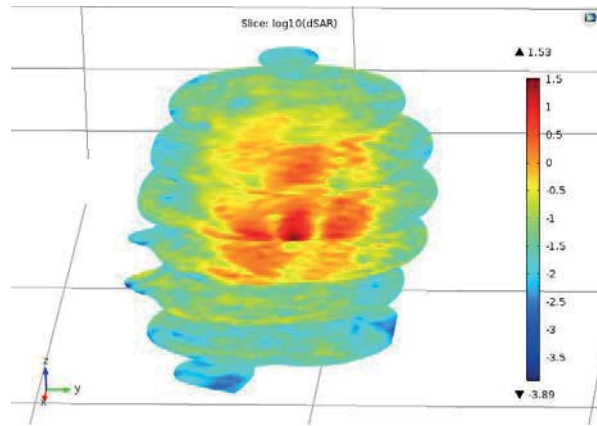
### 4.1. ÖSO Benzetimleri

Benzetimlerin ilk aşaması, 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında EM alana maruz kalan insan kafa modelindeki ÖSO dağılımıdır. Şekil 3 ve Şekil 4’te sırasıyla 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında en kötü durum için 1 W anten gücü kullanılarak ve antenin kafadan 0.5 cm mesafe ve sıfır derece açı ile tutulduğu varsayılarak benzetimlerin sonuçları verilmiştir.

Şekil 3 ve Şekil 4’te bar ile gösterilen renkler en düşük değerden en yüksek değere göre logaritmik ÖSO değerlerini gösteriyor olup, kafa dilimli model üzerinde renklerle değerleri belirtilmiştir. Benzetim sonuçlarına göre anten ile kafanın arasındaki mesafe 0.5 cm ve 00 tutuş açısı ile 900 MHz’de en yüksek logaritmik ÖSO değeri 1.02 W/kg; 1800 MHz’de 1.53 W/kg’ dir. Önceki raporlarla uyum içinde olan sonuçlara göre dokudaki en yüksek ÖSO değerinin antenin modele en yakın olduğu bölgede, kafa yüzeyinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 900 MHz’de kafada oluşan yerel ÖSO’nun log-ölçekte dilimli gösterimi.



Şekil 4. 1800 MHz’de kafada oluşan yerel ÖSO’nun log-ölçekte dilimli gösterimi.

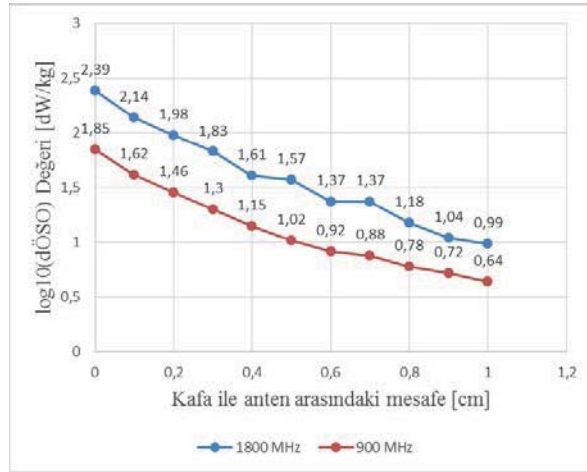
ÖSO benzetimleri, 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında antenin kafaya olan mesafesi 0 cm - 1cm aralığında değişirken, Şekil 5 ve Şekil 6’da sırasıyla 0 derece ve 10 derece tutuş açıları için verilmiştir. Benzetimlerden görüleceği gibi 1800 MHz’de 900 MHz’e göre daha fazla güç soğrulmaktadır. Benzetim sonuçları literatürde yapılan diğer çalışmalarla uyum içerisinde olup mesafe ile ÖSO değerlerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Her iki frekans için en yüksek değerler, beklenildiği gibi antenin kafaya en yakın olduğu kafa yüzeyinde oluşmuştur. Benzetimlerde, ÖSO değerinin açı ile de ters orantılı olduğunu, açı arttıkça değerlerin azaldığı tespit edilmiştir.

#### 4.2. Sıcaklık etkisi

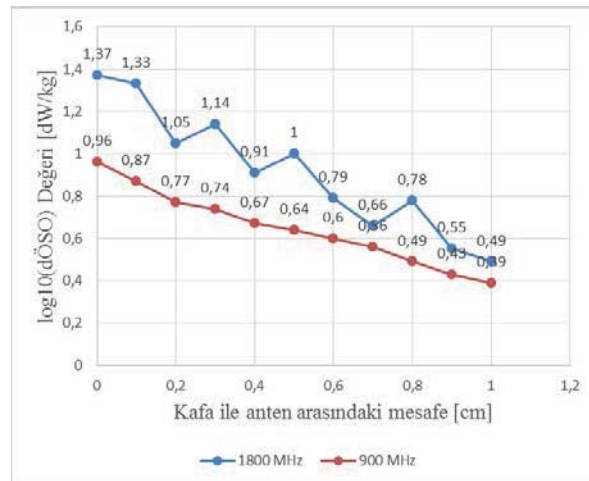
Cep telefonundan insan kafasına doğru olan elektrik alanın dağılımı aynı zamanda dielektrik ısınmadır. Bunun nedeni, elektrik alanın, insan kafasındaki farklı doku ve organlardan güç yoğunluğuyla orantılı uzaklığa nüfuz edebilme olasılığının olmasıdır (Stankovic vd.). Cep telefonundaki elektromanyetik yayınının kafa yüzeyinde Şekil 7 ve Şekil 8’de görüldüğü gibi sıcaklık artışını etkiler.

Radyo frekansındaki maruziyete bağlı kafadaki sıcaklık artışı, ÖSO’nun benzetim sonuçları başlangıç değerleri olarak kullanılarak biyosis denkleminin çözülmesiyle elde edilmiştir. Şekil 7 ve Şekil 8’de sırasıyla anten ile kafa arasındaki mesafe 0.5 cm, açı sıfır iken 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında kafanın içindeki sıcaklık değişimlerinin benzetimleri verilmiştir.

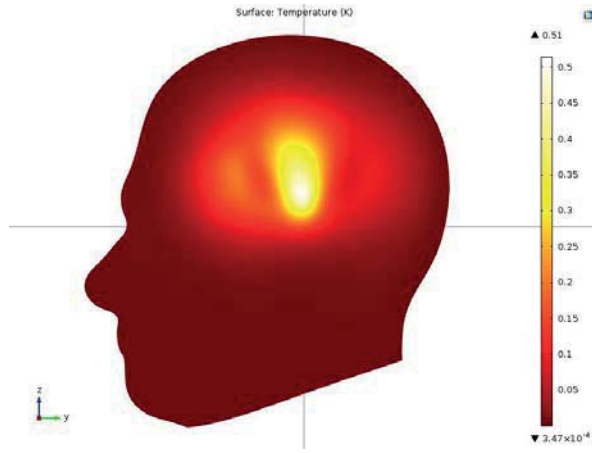
Benzetim sonuçlarından da açıkça görüleceği gibi sol tarafa yerleştirilen cep telefonu modelinin kafada oluşturduğu sıcaklık değişimleri kafaya en yakın olan konumda en yüksek değerlere sabittir.



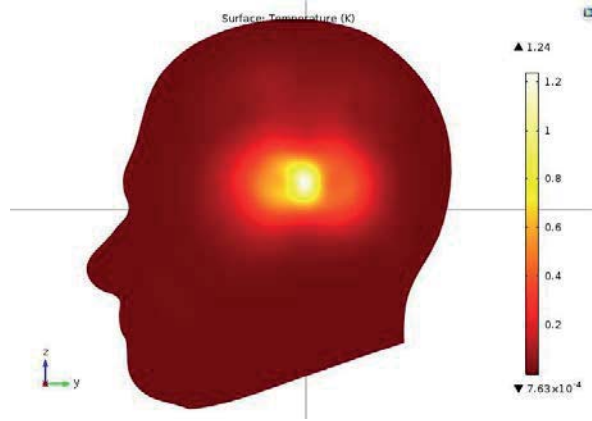
Şekil 5. 0 derecede değişen mesafeye göre ÖSO değerleri.



Şekil 6. 10 derecede değişen mesafeye göre ÖSO değerleri



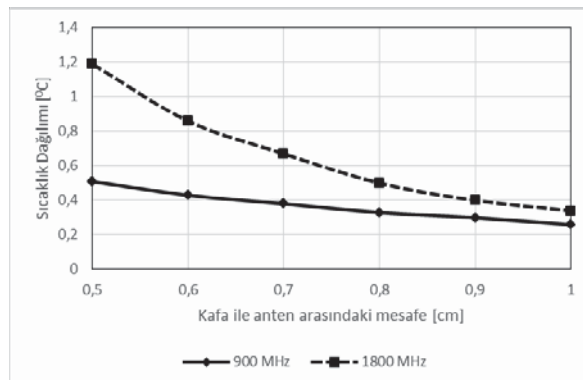
Şekil 7. 900 MHz’de kafada oluşan sıcaklık dağılımı.



Şekil 8. 1800 MHz’de kafada oluşan sıcaklık dağılımı.

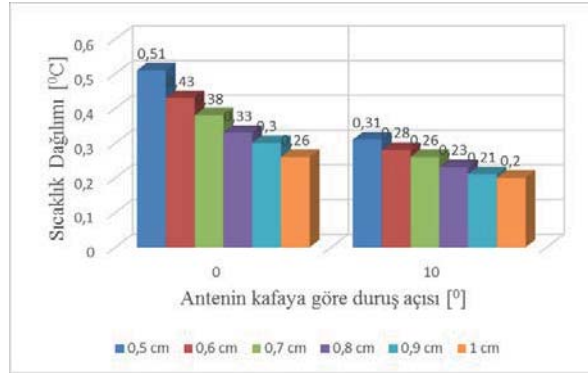
Kafa ile anten arasındaki mesafe 0.5 cm ile 1 cm arasında 1 mm aralıklarla değiştirilerek 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarındaki sıcaklık dağılımlarının benzetim sonucu Şekil 9’ da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, sıcaklık, cep telefonundan yayılan elektromanyetik kaynağındaki uzaklık ile birlikte azalmaktadır. Anten kafadan 0.5 cm uzaklıkta iken 0 derece tutuş açısı ile kafa yüzeyinde oluşan en yüksek sıcaklık değeri sırasıyla 900 MHz için 0,510 C, 1800 MHz için 1.190 C; 1 cm uzaklıkta iken sıcaklık değerleri sırasıyla 0,260 C ve 0,340 C’ ye düşmektedir.

Frekansların açı ve uzaklık ile ilişkilerini irdelemek için sırasıyla 900 MHz ve 1800 MHz için Şekil 10 ve Şekil 11’de, sıcaklık dağılımlarının 0 derece ve 10 derece anten pozisyonlarında uzaklıkla değişimleri verilmiştir. Şekil 12’de ayrıca insan kafasındaki sıcaklık dağılımının üç boyutlu benzetimi gösterilmektedir.

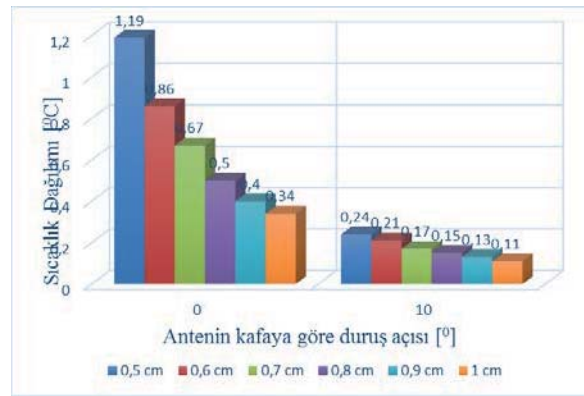




Şekil 9. 900 MHz ve 1800 MHz frekansları için insan kafasındaki sıcaklık dağılımı.



Şekil 10. 900 MHz'de 00 ve 100 açılar için mesafeye göre sıcaklık dağılımı.

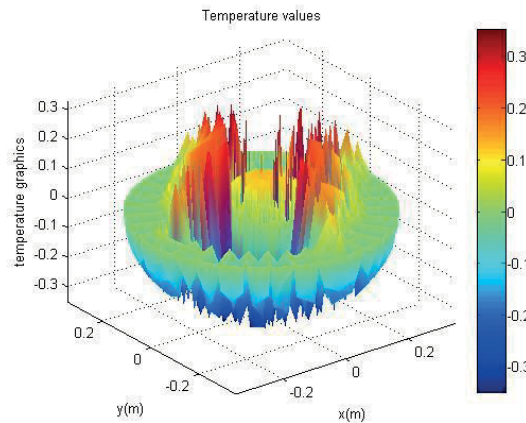


Şekil 11. 1800 MHz'de 00 ve 100 açılar için mesafeye göre sıcaklık dağılımı.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı, cep telefonlarının insan kafasında sebep olduğu sıcaklık artışı ve ÖSO dağılımları, farklı mesafe ve tutuş açılarına göre değerlendirilerek raporlamaktır. Bunu gerçekleyebilmek için cep telefonu, mikrostrip patch anten ile, insan kafası da çeşitli dokuların düzgün dağılımlı dielektrik özelliklerine sahip SAM adı verilen ile sayısal küre modeli ile örneklendirilmiştir.

900 MHz ve 1800 MHz'de yayınım yapan mikrostrip antenin kafadan olan uzaklığı 5 mm ile 10 mm, tutuş pozisyonu 00 ile 100 arasında değişirken ÖSO hesaplamaları yapılmıştır. Ortaya çıkan sıcaklık artışı, biyosı denkleminin sonlu elemanlar çözümü ile tahmin edilmiştir. Farklı mesafe ve açılarla tekrarları yapılan benzetim sonuçlarının diğer çalışmalarla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.





### Şekil 12. Maruz kalan insan kafasının üç boyutlu sıcaklık dağılımı.

IEEE'nin 3 kHz – 300 GHz frekans aralıklarındaki maruziyetinde belirlemiş olduğu dokunun 10 gramı için güvenlik seviyesi 2 W/kg olarak verilmiştir (IEEE Standard). Anten ve kafa arasındaki mesafe 0 – 1 cm iken kafada indüklenen maksimum ÖSO değerleri 1800 MHz için 2.39 – 0.99 W/kg, 900 MHz için 1.85 – 0.64 W/kg aralığında bulunmuştur. Yüksek çıkan ÖSO değerlerinin sebebinin olası en kötü durum için anten güçlerinin 1 W olarak alınması olduğunu not ederek, 1800 MHz için güvenlik değerinin altında kalan 1,98 W/kg ÖSO değerinin anten kafadan 0,2 cm uzaklıkta iken olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan benzetimlerde açıkça görüldüğü gibi maksimum ÖSO değerleri kafanın yüzeyinde oluşmaktadır.

Cep telefonlarından yayılan elektromanyetik alanın kafada yaratmış olduğu sıcaklık dağılımları benzetimlerinde, antenin kafadan uzaklaştığı zaman sıcaklık değerlerinin her iki frekansta da düştüğü görülmüştür. Benzetim sonuçlarında sadece uzaklık değil aynı zamanda antenin tutuş açısının da önemli olduğu kanıtlanmıştır. Anten ile kafanın arasındaki mesafe 0,5 cm iken, 900 MHz frekansı için antenin kafayla yaptığı açı 0 derecede iken 0,510 C 10 derecede iken 0,310 C'de, 1800 MHz'de ise sırasıyla 1,190 C ve 0,240 C olarak tesbit edilmiştir. Makalenin son çalışmasında, kafa içerisinde oluşan sıcaklık değerleri 900 MHz'de 2 cm ve 0 derece ile tekrarlandığında maximum sıcaklık değerinin 0,170 C'ye kadar düştüğü tesbit edilerek uzaklığın önemi bir kez daha gösterilmiştir.

Sonuçlar göstermektedirki, maksimum soğrulan enerji kafanın yüzeyinde oluşur, açı arttıkça elektromanyetik alanın kafaya nüfuz etmesi azalır ve yayınım kaynağından uzaklaştıkça ÖSO ve sıcaklık değerleri azalmaktadır. İleriki çalışma, homojen olmayan insan kafa modellerini kullanarak kafa içindeki dokuların etkileşimlerini incelemek olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, FEN-A-120514-0157 proje kodu ile Marmara Üniversitesi araştırma fonundan desteklenmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

Abdulrazzaq, S.A., Aziz, J.S., "SAR Simulation in Human Head Exposed to RF Signals and Safety Precautions", *International Journal of Computer Science and Information Technology*, 3 (9), 334-340, 2013.

Adel, Z. El Dein, Amr, A., Specific Absorption Rate (SAR) Induced in Human Heads of Various Sizes When Using a Mobile Phone, Proceedings of the World Congress on Engineering 2010, Londra- İngiltere, 30 Haziran – 2 Temmuz, 2010.

Ae-kyoung, L., Hyung-do, C., Hyung-soo L., Jeong-ki, P., "Human Head Size and SAR Characteristics for Handset Exposure", *ETRI Journal*, 24 (2), 2002.

Ahmad, L., Ibrani, M., Hamiti, E., Computation of SAR Distribution in a Human Exposed to Mobile Phone Electromagnetic Fields, Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS Proceedings, Xi'an-Çin, 1580–1582, 22-26 Mart 2010.

Anderson, V., Joyner, K.H., "Specific Absorption Rate Levels Measured in a Phantom Head Exposed to Radio Frequency Transmissions from Analog Hand-held Mobile Phones", *Bioelectromagnetics*, 16, 60-69, 1995.

Atılğan, E., Karadana, Y., Çömlekçi, S., "Wi- Fi Haberleşmede İnsan Kafası Modelinde SAR Değerinin Hesaplanması ve Ölçüm Çalışması", *Süleyman Demirel University Journal of Technical Sciences*, 4 (1), 13-18, 2014.

Balzano, Q., Garay, O., Steel, F.R., "Heating of Biological Tissue in the Induction Field of VHF Portable Radio Transmitters", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, VT-27, 51-56, 1978.

Buckus, R., Strukcinskiene, B., Raistenskis, J., Stukas, R., "Modelling and Assessment of the Electric Field Strength Caused by Mobile Phone to the Human Head", *Vojnosanit Pregled Journal*, 73 (6), 538-543, 2016.

Chen, H., Wang, H., "Current and SAR Induced in a Human Head Model by the Electromagnetic Fields ICradiated from a cellular Phone", *IEEE Transaction on Microwave Theory Technology*, 42 (12), 2249 – 2254, 1994.

Citkaya, A.Y., Seker, S.S., FEM modeling of SAR distribution and temperature increase in human brain from RF exposure, International Journal of Communication System 2012, 25, 1450–1464, 2012.

Cleveland, R.F., Athey, T.W., "Specific Absorption Rate (SAR) in Models of the Human Head Exposed to Hand-held UHF Portable Radios", *Bioelectromagnetics*, IO, 173-186, 1989.

- Dimbylow, P.J., Gandhi, O.P., "Finite Difference Time Domain Calculations of SAR in a Realistic Heterogeneous Model of the Head for Plane-wave Exposure from 600 MHz to 3GHz", *Physics in Medicine and Biology*, 36 (8), 1075-1089, 1991.
- Dimbylow P.J., "FDTD Calculations of the SAR for a Dipole Closely Coupled to the Head at 900 MHz and 1.9 GHz", *Physics in Medicine and Biology*, 38, 361-368, 1993.
- Dimbylow P.J., "SAR Calculations in an Anatomically Realistic Model of the Head for Mobile Communication Transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz", *Physics in Medicine and Biology*, 39, 1537- 1553, 1994.
- Goel, A., Richa A., "Evaluating the Effect of Distance on Specific Absorption Rate Values inside a Human Head Model", *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 12 (1), 186-189, 2014.
- Hirata, A., Fujiwara, O., "The Correlation Between Mass-Averaged SAR and Temperature Elevation in the Human Head Model Exposed to RF Near-Fields from 1 to 6 GHz", *Physics in Medicine and Biology*, 54, 7227-7238, 2009.
- Hui, H., Shu, L., Fanqing, Z., "Characteristic of the SAR Distribution in Homogeneous Phantom Exposed to Electromagnetic Field Radiated Hand- Held Portable Telephones", IEEE 5th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory, ISAPE 2000, Beijing – Çin, 664 – 667, 15-18 Ağustos 2000.
- ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), *Health Physics*, 74, 494-522, 1998.
- IEEE, IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 khz to 300 GHz, IEEE Standard C95.1, 2005.
- Kunter, F.Ç., Şeker, S.S., "3D Web-Splines Solution to Human Eye Heat Distribution Using Bioheat Equation", *Engineering Analysis in Boundary Elements*, 35, 639-646, 2011.
- Kunter, F.Ç., Şeker, S.S., "Radially Symmetric Weighted Extended B-spline Model", *Applied Mathematics in Computation*, 217, 10305-10316, 2011.
- Morega, M., Marinescu, A., Mobile phone SAR analysis through experimental and numerical simulation, 12th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM 2010.
- Nagarjuna, M.C., Shailaja, K., "Three- Dimensional Modeling for Heat Transfer in the Human Brain, While Subjected to Mobile Phone Radiation, *IJREAT International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology*, 2 (3), 2320 – 8791, 2014.
- Nikita, K.S., Stamatakos, G.S., Uzunoglu, N.K., Karafotias, A., "Analysis of the Interaction Between a Layered Spherical Human Head Model and a Finite Length Dipole, *IEEE Transaction on Microwave Theory Technology*, 48 (11), 2003-2012, 2000.
- Psenakova, Z., Smondrk, M., Benova, M., Modelling and Simulation of the Electric Field Strength Distribution in a Human Head Model by 2,4 GHz Radio Frequency Radiation, 23rd Annual Conference Proceedings, Prag-Çek Cumhuriyeti, 50- 60, 2015.
- Rashed, M., Faruque, I., Islam, M.T., Misran, N., "SAR Analysis in Human Head Tissues for Different Types of Antennas, *World Applied Sciences Journal* 11, 1089-1096, 2010.
- Stanković V., Jovanovic, D., Krstić, D., Cvetković, N., Electric Field Distribution and SAR in Human Head From Mobile Phones, The 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, May 7-9, Bucharest, Romania, 2015.
- Şeker, S.S., Demirbilek, B.O., Morgül, A., SAR Assessment in a Human Head Model Exposed to Radiation from Mobile Phone Using FEM, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC 2002, Mineapolis-Amerika, 851- 855, 19-23 Ağustos, 2002.
- Wang, J, Fujiwara, O., "FDTD Computation of Temperature Rise in the Human Head for Portable Telephones", *IEEE Transaction on Microwave Theory Technology*, 47 (8), 1528–1534, 1999.
- Watanabe, S., Taki, M., Nojima, T., Fujiwara, O., "Characteristics of the SAR Distributions in a Head Exposed to Electromagnetic Fields Radiated by a Hand-held Portable Radio", *IEEE Transaction on Microwave Theory Technology*, 44 (10), 1874 – 1883, 1996.

WHO, World Health Organizations Fact Sheet No.193, “Electromagnetic Fields and Public Health, Mobile Telephones and Their Base Stations”, 2000.



## Adsorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinde Zeolit- Su Buharı Isıl Performansının İncelenmesi

### Investigation of Zeolite-Water Vapor Thermal Performance in Adsorption Cooling Systems

Türker AKKOYUNLU\*<sup>1</sup>, İbrahim UZUN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 27/02/2017

Kabul/Accepted: 19/05/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Mekanik sıkıştırımlı ısıtma ve soğutma sistemleri performans değerlerinin yüksekliği nedeniyle halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak soğutucu akışkanlar ve çevresel etkileri yönünden alternatif ısıtma ve soğutma sistemleri üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bunların içerisinde önemli yer tutan adsorbsiyonlu soğutma sistemlerin çevresel değerleri koruma hem de atık enerji veya yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılarak gerçekleştiriliyor olabilmesi bir çok açıdan önemli görülmektedir. Adsorbsiyonlu ısı pompalarında adsorbent yatağındaki adsorbent malzeme özelliğinden dolayı adsorbat(su) evaporatördeki haznede bulunan soğutma suyundan ısı çekerek buharlaşırken bu buhar adsorbent tarafından adsorblanır. Bir kısmı buharlaşan evaporatör haznesi içinde su sıcaklığı düşer bu esnada adsorbent haznesinde ise emilen su buharının etkisiyle adsorbent yatağında adsorpsiyon ısısi ortaya çıkmaktadır. Çevrimin tamamlanması için adsorblanan su buharının atık enerji kaynağı ile adsorbent malzeme içerisinden uzaklaştırılarak buharlaştırıcı haznesine geri döndürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada oluşturulan bir deney düzeneği ile düşük basınç altındaki adsorbsiyonlu soğutma sisteminin dış kaynaklı enerjisinin içten yanmalı motor ekzos gazlarından alınması ve çevrimin bu enerji girdisi ile tamamlanması planlanmıştır. Çalışmanın adsorbent yatağı, buharlaştırıcı haznesi ve yoğuşturucu bölümlerinin tasarımı gerçekleştirilmiş ve deneysel ölçümler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar küçük ölçekli bir soğutma çevrimi içinde buharlaştırıcı içerisindeki kütle değişimi, adsorbent yatağındaki sıcaklık değişimleri zamana bağlı olarak verilmiştir. Atık enerji ısı değiştirici tasarımları yanında mekanik hesaplamaları yapılmış ancak deneysel ölçümlerin yapıldığı düzende henüz kullanılmamıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Adsorbsiyonlu Soğutma, Soğutucu, Isı Değiştirici, Zeolit”

#### Abstract

In Adsorption Refrigeration Systems, adsorbate (water) evaporates by absorbing heat from cooling water which is circulating in evaporator and the temperature of the cooling water is reduced. Evaporated adsorbate begins to flow into the adsorbent bed and adsorbed by adsorbent particles(Zeolite13x) which is in the bed of adsorbent. During the adsorption process occurs adsorption heat in the adsorbent bed. Numerical solutions of the desorption times was carried out utilizing from the waste energy for the heat disposal, taking the normal temperature of the adsorbent bed and removal of the water vapor in. With heat exchanger design made, water vapor which is heated up to 250 centigrade degree within the adsorbent reservoir is returned to the tank for to use again. In this study, performance values of the heating channels in the changer has been obtained under the change of field, position and types of fluids. Evaporation times, the amounts of fluid evaporating, the amount of energy expended in numerical solution which is supported with experimental studies is provided with tables and graphs.

#### Key Words

“Absorption Cooling, Refrigerator, Heat Exchangers, Zeolite”

## Semboller

COP	Performans katsayısı
$c_p$	Sabit Basınçta Özgül ısı (kJ/kgK)
m	Kütle (kg)
Q	Isı Enerjisi (kJ/kg)
Q <sub>1-2</sub>	İzosterik ısıtma işlemi, ısı enerjisi, kJ
Q <sub>2-3</sub>	İzobarik desorpsiyon işlemi, ısı enerjisi, kJ
Q <sub>3-4</sub>	İzosterik soğutma işlemi, ısı enerjisi, kJ
Q <sub>4-1</sub>	İzobarik adsorpsiyon işlemi, ısı enerjisi, kJ
T	Sıcaklık
$\Delta H$	adsorpsiyon ısısı (kJ)
$\Delta h$	Entalpi

## İndisler

ads	Aadsorpsiyon
$\phi$	Çıkış
des	Desorpsiyon
evp	Buharlaştırıcı
fg	Sıvı – Gaz fazı
g	Giriş
k	Adsorbent malzeme
p	Sabit Basınç
s	Adsorbat akışkan
w	Kkonsantrasyon oranı
con	Yoğuşturucu

## 1. GİRİŞ

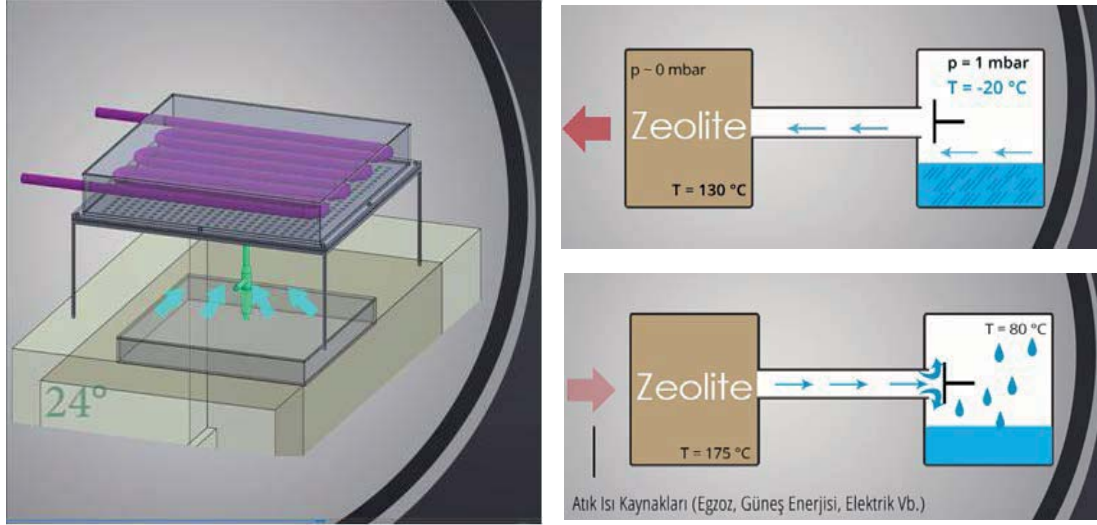
Adsorpsiyonlu ısı pompaları, güneş ve atık enerji kaynakları başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklı çalışmalarla son zamanlarda üzerinde yoğun çalışılan konulardan biridir. Bilindiği üzere bu tür soğutma sistemlerinde mekanik sıkıştırımlı soğutma sistemlerindeki kompresör bulunmamaktadır. Soğutma işlemi ardışık olarak adsorpsiyon ve desorpsiyon olmak üzere iki aşamalı bir çevrim sonucu soğutma gerçekleşmektedir. Bu çevrim esnasında soğutma yanında ısıtma amaçlı kullanımda söz konusu olabilmektedir. Wang ve Oliveira, (2006)'ın gösterdiği gibi vakum altında çalışılan sistemde soğutma amaçlı uygulamalarda -18°C sıcaklığa kadar inilebilmektedir. Isıtma amaçlı kullanımlarda ise zeolit haznesi 100°C sıcaklıkların üzerine çıkabilmektedir. Bu sıcaklık değişimleri elbette zeolit ve su haznesi basınç değerleri ile doğrudan ilişkilidir. Wang R.Z ve diğerleri (2006) çalışması ile adsorpsiyonlu ısı pompalarında çalışma çiftleri Slika jel-Su, AC-NH<sub>3</sub>, AC-Metanol, Zeolit Su ağırlıklı olarak kullanıldığı ve yıllara göre adsorpsiyon sistemlerindeki COP değişimleri, uygulama alanları ve ısıl güçleri tablolar halinde verilmiştir. Solmuş (2011)'un bahsettiği üzere doğal zeolit – su çifti ile yapılan bir çalışmada Adsorpsiyon sıcaklığının 45°C , desorpsiyon sıcaklığının 150°C, yoğuşturucu sıcaklığının 30°C olduğu farklı buharlaştırıcı sıcaklıkları için prototip soğutma sisteminin ortalama COP değeri 0.25 civarında bulunmuştur. Bu çalışmada farklı çaplara sahip zeolit parçacıkları üzerinde yapılan deneyler sonucunda doğal zeolitin maksimum su buharı adsorplama kapasitesi, 40-150°C zeolit sıcaklığı ve 0.87-7.38 kPa su buharı basıncı aralığında yaklaşık 0.12 kgsu/kgad olarak bulunmuştur.

Demir (2008) ve Ashrae Journal (2011)'in bahsettiği üzere çeşitli adsorbat-adsorban çiftlerinin performans değerlendirmeleri üzerine de çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan birinde Zeolit dışındaki adsorbanlar kullanılmış ve adsorpsiyonlu soğutma sistemleri hakkında kapsamlı bilgiler sunmuştur. Adsorpsiyon-Desorpsiyon döngüsünde hangi parametrelerde ne sonuçlar alındığını gösteren çalışmada doğal zeolit kullanılması ve haznelerdeki vakumlarda istenilen seviyelere inilememesi sebebi evaporatör sıcaklıkları 1°C'lerde kalmıştır. Çok sayıda düzenek üzerinde verimlilik hesapları yapılan çalışmada, adsorban yatağı ısı transfer alanı %550 artırıldığında sistemin soğutma gücü %200 geliştirilmiş, yatak içinde ısı iletimi alüminyum metal parçalarıyla artırıldığında ise çevrim süresi oldukça kısaltılmıştır. Evaporatör haznesinin soğutma yüzeyi alanı 0.226m<sup>2</sup> iken 0.038m<sup>2</sup>'ye göre 300 dakika kısa sürede desorpsiyon gerçekleştirilmiştir. Zeolit- su ikilisi kullanan adsorpsiyonlu ısı pompalarında farklı tiplerde zeolitlerin hangi sonuçları verdiği karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan sentetik zeolitlerin(Zeolit 13x), bu özellik üzerine boşluklu yapılarının özelleştirilmiş olması dolayısıyla adsorplama kapasiteleri bu rakamların iki katından fazla olarak 0.25 kg/kgad'dan yüksek olması beklenmektedir. Söz konusu adsorban yatağın performansını iyileştirmek için, dış ortama karşı ısı transferi dirençlerinin artırılması, akışkan yollarının akışı kolaylaştıracak şekilde tasarlanması yönünde kısaltılması gerçekleştirilmiştir. Buhar difüzyonunun hızlı olması ve zeolit haznesinin bütün noktalarına su buharının hızlı bir şekilde ulaşması yönünde tasarımın yapılması gerçekleştirilmiştir. Bu bilgi ışığında evaporatör haznesinin kondenser görevi de göreceği unutulmadan soğutma yüzey alanı mümkün olduğunca artırılacağı bir tasarım Şekil 1.'de gösterildiği şekilde geliştirmiştir.

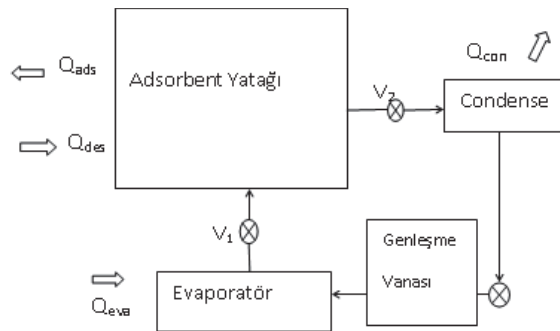
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Hesaplamalar yapılırken adsorbsiyonlu sistemde genelde ısıtma ve soğutma amaçlı olarak iki aşamalı enerji geçişleri söz konusudur. Bilindiği üzere adsorbsiyon ve desorbsiyon süreçleri olarak adlandırılan işlemlerde sırasıyla düşük sıcaklıktaki evaporatörden adsorbent yatağına enerji geçişi ve su buharı ile doymuş hale gelmiş adsorbent yatağından dış enerji kaynağı veya atık enerji kullanılarak kondensere olan enerji akışı şeklindedir.



Şekil 1. Deney düzeneği ve bileşenlerinin çalışma sistemi.

Ashrae Journal (2011) ve Yıldırım vd., (2011)' in belirttiklerine göre deneysel işlem aşamaları iki izosterik ve iki izobarik olmak üzere bir çevrimi tamamlayarak ısıtma ve soğutma süreçlerini tamamlamaktadır. İzosterik işlemlerde ısıtma ve soğutma süreçleri izobarik işlemlerde ise adsorbsiyon ve desorbsiyon süreçleri gerçekleşmektedirler. Deneysel çalışmalarda kullanılan deney düzeneği üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar adsorbent yatağı (zeolit deposu), evaporatör(buharlaştırıcı) ve kondenser(yoğuşturucu) şeklindedir. Mevcut deneylerin gerçekleştirildiği düzende denemeler sürdürüldüğünden yoğuşturucu ve buharlaştırıcı farklı aşamalarda hem buharlaştırıcı hem de yoğuşturucu olarak kullanılmaktadır. Deneyler esnasında buharlaştırıcı ile bütünleşik bir load cell hücresi tasarlanmış ve su haznesi (buharlaştırıcı) bu sensörün üzerine montajlanmıştır. Bu durum evaporatör devresinde soğutucu akışkandan ısı çekerken(Qeva) aynı zamanda buharlaşan akışkan miktarı ile bir kütleleşme değişimine uğramaktadır. Bu değişim Şekil 4.'de verildiği gibi çok sınırlı bir kütle geçişine neden olmaktadır. Bu kütleleşme değişiminin adsorbent tarafından adsorbe edilen su buharı olduğu bilinmektedir. Deney düzeneğinde enerji geçişleri için adsorbent yatağında gerçekleşen enerji döngüsü Şekil 2.'de gösterilmektedir. Bu enerji döngüsünde adsorbent malzemenin enerji alışverişlerinde dört adım bulunmaktadır. Bu adımların termodinamik çevrimleri aşağıda açıklanmıştır. Deneysel çalışmanın en önemli aşamalarından birisi olan adsorbent yatağında su buharının bir dış enerji kaynağı kullanılarak uzaklaştırılıp çevrimin ikinci aşaması olan desorpsiyon işlemidir. Bu işlem için gerekli olan enerjinin taşıyıcı araç egzoz atık gazlarını kullanarak elde edilen atık enerjiden elde edilmesidir. Atık egzoz gazlarının tasarlanan ısı değiştiricide enerjisini büyük ölçüde bırakarak atılması ve alınan enerjinin adsorbent yatağına iletilmesidir. Ancak bu çalışmada şimdilik su buharının uzaklaştırılması elektrik enerjisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ülkü S.(1986), Demir H.(2008), Ashrae(2011) ve diğer bir çok çalışmada olduğu gibi adsorbsiyonlu ısı pompası çevrimleri adsorbsiyon ve desorbsiyon evrelerini kapsamak üzere dört farklı süreci kapsamaktadır.



Şekil 2. Adsorbent yatağındaki enerji hareketleri



### İzobarik Adsorbsiyon(Q<sub>4-1</sub>)

İlk anda adsorbent yatağındaki adsorbat konsantrasyonu miktarı en düşük seviyededir. Bu esnada V1 ve V2 vanaları kapalıdır. Çevrim, evaporatör ile adsorbent yatağı arasında bulunan V1 vanası açılarak çevrim başlatılır. Adsorbat, evaporatördeki soğutma suyundan çektiği ısıyla buharlaşır. Bu esnada soğutma suyunun sıcaklığı düşürülmüş olur. Adsorbat buharlaştıktan sonra V1 vanasından geçerek, adsorbent yatağına doğru akmaya başlar. Adsorbat hem basınç farkından hemde yatakta bulunan adsorbent tanecikleri sayesinde adsorbent yatağına doğru çekilir ve adsorplanır. Adsorplama süreci esnasında fiziksel olaylardan ötürü adsorbent yatağında adsorpsiyon ısı denilen ısı ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan ısının yataktan atılması ve yatak sıcaklığının çevrimin sahip olduğu en küçük sıcaklığa düşürülmesi gerekmektedir. Adsorpsiyon süreci sonunda, adsorbent tanecikleri adsorbata doymuş hale gelmiş ve adsorbat konsantrasyonu artmıştır. Soğutma işlemi esnasında adsorbent tarafından su buharı adsorblanırken yaklaşık 150°C sıcaklığa çıkan adsorbent yatağının 40°C sıcaklığa düşürülmesi sırasında atılan enerji miktarıdır. Çevrimin bu süreçleri sabit basınçta gerçekleşmektedir. Bu işlem sonunda adsorblama miktarı maksimuma yakın değere ulaşmış durumdadır. Şekil 3.'de görüleceği üzere kütle değişimi zeolit su ikilisi için çok kısa bir zaman sürecinde değer yaklaşık  $w_1=0.25$  kg/kg civarındadır.

### İzosterik Isıtma(Q<sub>1-2</sub>)

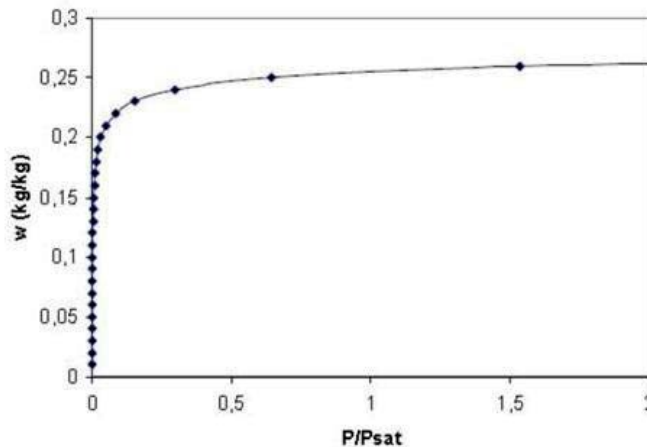
Adsorpsiyon süreci tamamlandıktan sonra V1 vanası kapatılır. Adsorbent yatağına ısı verilerek sıcaklığı ve basıncı artırılmaktadır. Bu aşama izosterik ısıtma olarak tanımlanır. Bu sırada yatakta doymuş haldeki adsorbent ısıtılır, basınç ve sıcaklık yükselir ancak yatak içerisindeki adsorbat miktarı değişmemekte ve adsorblama miktarı yaklaşık  $w_2=0,25$  kg/kg civarındadır. Bu sırada adsorbent yatağı sıcaklığı yükselmekte ve 40°C sıcaklıktan yaklaşık 120°C sıcaklığın üzerine çıkması beklenir ve kondenser basıncına kadar ısıtma işlemine devam edilir.

### İzobarik Desorpsiyon(Q<sub>2-3</sub>)

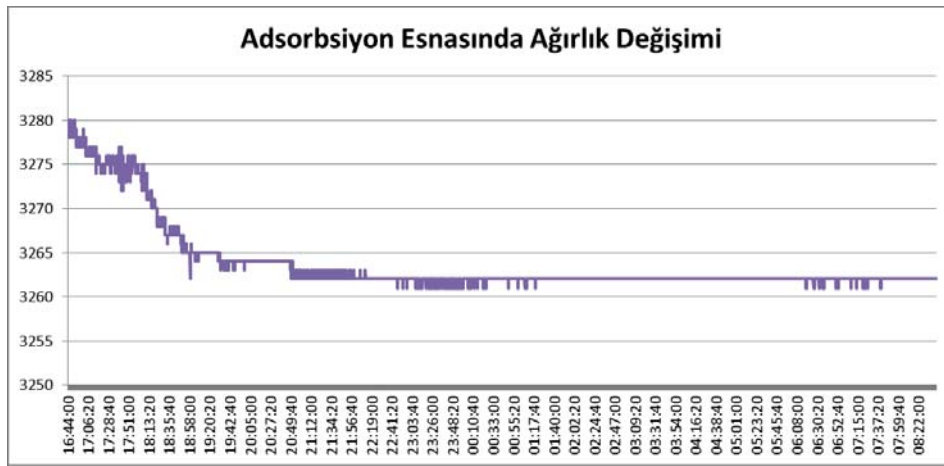
Adsorbent yatağının basıncı, kondenserin basıncına ulaştıktan sonra V2 vanası açılır ve desorpsiyon işlemi başlatılmaktadır. Desorpsiyon süreci boyunca adsorbent yatağına ısı transfer edilmekte ve sıcaklığı artırılmaktadır. Sıcaklık değeri yaklaşık 120°C sıcaklıktan 250°C sıcaklığa kadar yükseltilerek bütün adsorblanan su buharının adsorbentten ayrılması sağlanır. Bu esnada desorplanan adsorbat kondensere aktarılır ve kondenserde çevreye ısı atarak yoğunlaşmaya başlar. Desorpsiyon işlemine adsorbent yatağı tekrar başlangıç konsantrasyonuna gelinceye kadar devam edilir. Adsorbent yatağı içerisindeki adsorblama miktarı yaklaşık  $w_3 \approx 0$ 'a yakın olmalıdır. Çevrimin bu kısmına izobarik desorpsiyon adı verilir. Şekil 5.'de görüleceği gibi adsorbent yatağı ve su haznesinin sıcaklık değişimleri adsorbent yatağı için 160C civarına çıkmış su haznesi ise 25C sıcaklıklardan 20C sıcaklık civarına düşmüştür. Doğal taşınım ile soğutmaya bırakıldıklarında zamana bağlı sıcaklık değişimleri yavaş gerçekleşmiş ve her iki hazne sıcaklıkları da 20°C civarında kararlı hale geldikleri görülmektedir.

### İzosterik Soğutma(Q<sub>3-4</sub>)

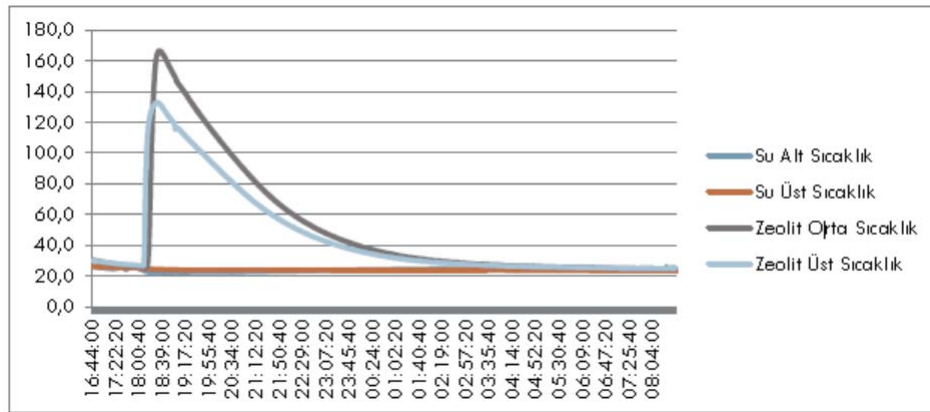
Desorpsiyon süreci tamamlandıktan sonra, yatak ile kondenser arasında bulunan V2 vanası kapatılarak bağlantı kesilir. Adsorbent yatak ilk konsantrasyon durumunda olup, adsorbent yatağı soğutmaya tabi tutulmaktadır. Bu sırada adsorbent yatağının sıcaklığı yaklaşık 250°C sıcaklıktan 150°C sıcaklığa kadar soğutulmaktadır. Yatak basıncı evaporatör basıncına düşüncüye kadar soğutma işlemine devam edilmektedir. Kondenserde biriken sıvı fazındaki adsorbat, genleşme vanasından geçerken basıncı evaporatör basıncına düşer ve evaporatöre aktarılır. Çevrimin bitmesi ile tekrar izobarik adsorpsiyon işlemine başlanmaktadır. Tek kademeli bir adsorbsiyonlu ısı pompası çevrimi Şekil 8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Zeolit 13x – Su ikilisi adsorblama kapasitesi basınç ilişkisi[5].



Şekil 4. Adsorbsiyon aşamasında zamana bağlı kütleli değişim.



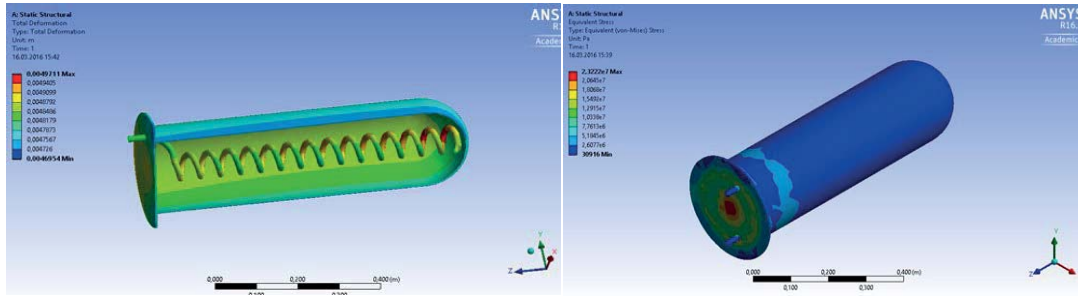
Şekil 5. Adsorbsiyon aşamasında adsorbant ve adsorbent haznelerinin sıcaklık değişimi.

### 3. SAYISAL ÇALIŞMALAR

DeneySEL sonuçlarda buhar geçişi, basınç düşümü ve ısı transferi problemleri göz önüne alındığında istenilen sıcaklık düzeyine inilememiştir. Bu durumu öncelikle düşük basınç değerlerinde mekanik analizlerin yapılması ve vakum altında deformasyonların kabul edilebilir sınırlar içinde kalması önemlidir. Ancak buna karşılık endüstriyel uygulamalarda ısı geçişini kolaylaştırmak için yüzey alanlarının mümkün olduğunca büyük tutulmasını gerektirmektedir. Yayvan prizmatik tasarımların mukavemet açısından sıkıntılı olduğu ve iç destek parçalı tasarımlar yapılması gerektiği görülmektedir. DeneySEL çalışmaların kolaylaştırılması, ölçüm belirsizliklerinin azaltılması için sayısal çözüm yapılarak yeni tasarımla deneySEL çalışmaların tekrarlanması amacıyla hem adsorbant yatağı ve atık enerji ısı değiştiricisinin silindirik tasarımlarının sayısal analizleri yapılmıştır. Tasarımlardan adsorbent yatağı deformasyon ve değerleri ve şekilleri Şekil 6a ve 6b'de verilmiştir.

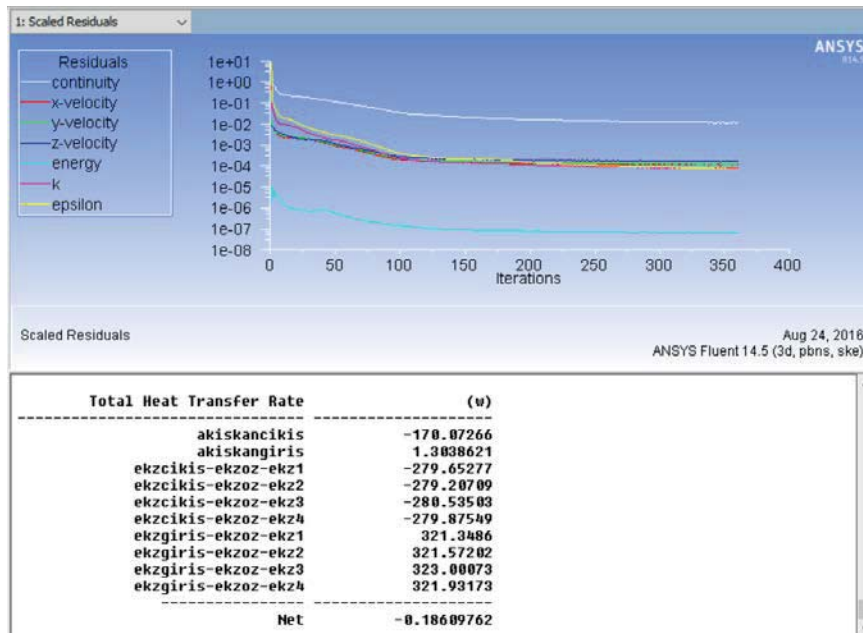
Prizmatik adsorbent yatak geometrilerinde yüksek vakum değerlerindeki deformasyonların fazla çıkması gibi nedenlerden dolayı haznenin silindirik tasarımı esas alınmıştır. Yaklaşık aynı miktarda zeolit bulunduracak şekilde tasarlanan yapıda atık ısı kaynaklı desorpsiyon işlemi için içeriden ısıtma uygulamasının daha yerinde olacağı düşünülmüştür. Prizmatik adsorbent yatak geometrisinde ısıtma işlemi hazne dışından yapıldığından yüzeysel plaka tipi ısıtıcılar kullanılmıştır. Mekanik dayanımlar dikkate alınarak silindirik tip adsorbent yatağına geçildiğinde ısıtıcılar haznenin içerisine alınmıştır.

Yeni tasarlanan Zeolit haznesinin negatif 1 bar basınç altındaki deformasyonları bir önceki tasarıma göre oldukça düşük çıkmasından dolayı deney imkanları elverdiğince daha düşük basınçlara çıkılabilecektir. Bu vakum değerinde maksimum deformasyon değeri 0,2186mm civarında çıkmıştır. Eksi basınç değerinin 100 Pa olması durumunda deformasyon değeri doğrusal olarak 0,2186E-3mm olarak bulunmuştur. Maksimum gerilme değerleri ise 100kPa ve 100 Pa için sırasıyla 36,917 Mpa 36, kPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. Zeolit Haznesi-Adsorbent Yatağı Deformasyonu(a) ve Gerilme Değerleri(b)

Sayısal çözümlerde iki temel problem söz konusudur. Bunlardan birincisi atık ısı değiştiricisinde atık ekzoz gazlarının giriş sıcaklığı 400°C sıcaklığa kadar çıkmaktadır. Bu durum bu değiştiricide ikincil akışkanın bu sıcaklık altında fiziksel değişimi dikkate alınarak seçilecek bir akışkan olmak durumundadır. Su, yağ gibi akışkanların atmosfer basıncı altında bu sıcaklıklarda faz değişimlerine uğrayacağı göz ardı edilmemesidir. Bu durumda akışkanın faz değiştirmesi durumunda sıvı fazdan buhar faza geçişte çok ciddi bir hacimsel artış söz konusu olacağından basınç değişimine dikkat edilerek tasarım yapılmalıdır. İkinci önemli problem ise atık enerji ısı değiştiricisinden çıkan sıcaklığı artırılmış ikincil akışkanın adsorbent yatağına ulaştırılmasıdır. Bu yolun uzun olması enerjinin büyük bir bölümünün yolda harcanması ve etkinliğinin azalması şeklinde sonuçlanabilecektir. Bu çalışma ile Şekil 7.'da gösterilen ve tasarımı yapılan ısı değiştiricide farklı akış şartlarında havadan havaya ısı değiştiricisi durumunda transfer edilecek ısı miktarları hesaplanmıştır.



Şekil 7. Atık Isı Değiştiricisinde Korunum Denklemlerinin Yakınsaması

#### 4. SONUÇLAR

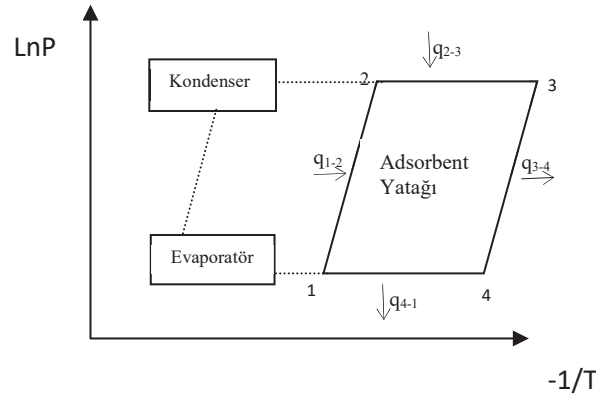
Mobedi (2007)'in çalışmasına göre deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bilgilere göre zeolitin, kütlesi  $m_k = 16,64$  kg, özgül ısı  $c_{pk} = 0,92$  kJ/kg°C ve konsantrasyon miktarı  $w_{min} = 0,0$  kg/kg,  $w_{max} = 0,30$  Kg/kg aralığında kabul edilmiştir. Adsorbent haznesindeki sıcaklıklar  $T_1 = 40^\circ C$ ,  $T_2 = 120^\circ C$ ,  $T_3 = 250^\circ C$ ,  $T_4 = 150^\circ C$  dir. Bu bilgilere göre çevrimin analitik analizi gerçekleştirilmiştir.

$$Q_{41} = m_k c_{pk} (T_4 - T_1) + m_k \frac{w_4 + w_1}{2} c_{ps} (T_4 - T_1) + m_k (w_{max} + w_{min}) \Delta H_{ads} \quad (4.1)$$

$$Q_{12} = m_k c_{pk} (T_2 - T_1) + m_k w_{max} c_{ps} (T_2 - T_1) \quad (4.2)$$

$$Q_{23} = m_k c_{pk}(T_3 - T_2) + m_k \frac{w_2 + w_3}{2} c_{ps}(T_3 - T_2) + m_k (w_{max} + w_{min}) \Delta H_{ads} \quad (4.3)$$

$$Q_{34} = m_k c_{pk}(T_3 - T_4) + m_k w_{min} c_{ps}(T_3 - T_4) \quad (4.4)$$



Şekil 8. Adsopsiyonlu soğutma sistemi (1-2) İzosterik Isıtma, (2-3) İzobarik Desorbsiyon, (3-4) İzosterik Isıtma ve (4-1) İzobarik Adsorbsiyon.

Adsorbent yatağındaki enerji transferlerinde çevrimin tamamlanması için devrede bir yoğuşturucu ve bir de buharlaştırıcı bulunmak durumundadır. Bunlar bu çalışmada bütünleşik olarak çalışmaktadır. Bunlar üzerinde transfer edilen ısı enerjisi miktarları ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilirler.

$$Q_{evp} = m_k (w_{max} - w_{min}) \Delta h_{fg,eva} \quad (4.5)$$

$$Q_{cond} = m_k (w_{max} - w_{min}) \Delta h_{fg,con} \quad (4.6)$$

$$COP_{evp} = \frac{Q_5}{Q_2 + Q_3} \quad (4.7)$$

$$COP_{con} = \frac{Q_6}{Q_3 + Q_4} \quad (4.8)$$

Tablo 4.1. Yaklaşık sıcaklıklar üzerinden hesaplanan teorik ısı geçişleri ve performans değerleri.

Q, transfer Edilen Enerji, kJ						Performans	
Q <sub>1-2</sub>	Q <sub>2-3</sub>	Q <sub>3-4</sub>	Q <sub>4-1</sub>	Q <sub>evp</sub>	Q <sub>cond</sub>	COP <sub>evp</sub>	COP <sub>con</sub>
1624,06	24659,06	1530,88	23877,5	11266,94	11266,94	0,4286	0,4302

Adsorbent yatağındaki enerji giriş ve çıkışlarında adsorbent(zeolit), adsorb edilen adsorbat(su buharı), adsorbent yatağı(gövde ve içindekiler) ve gizli buharlaşma ve yoğuşma ısılarından oluşmaktadır. Bu enerji geçişlerinde temel alınan veya bir başka deyişle teorik hesaplamalar için varsayılan tahmini sıcaklıklar esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Deneysel ön çalışmalar esnasında adsorbent haznesi sıcaklıkları 160°C sıcaklıklara kadar çıkmış ancak su haznesi sıcaklıkları ancak 15°C sıcaklıklara kadar

indirilebilmiştir. Bu çalışmada adsorbent yatağı ve yoğunlaştırıcı tasarımının önemi görülmüştür. Adsorbent yatağının tasarımı adsorbent malzemenin adsorpsiyon ve desorpsiyon sürelerini kısaltıcı şekilde düzeltilmesinin sistemin verimine önemli ölçüde katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır. Bir sonraki çalışmada zeolitin adsorpsiyon sürecinde buhar emme süresini ve kapasitesini artırmak için yatak içi dizaynı kararlaştırılmış ve bunun desorpsiyon sürecini de kısaltıcı bir etkisi olacağı kanısına varılmıştır. Demir H., Mobedi M. Ce Ülkü S.(2008) çalışmalarında konvansiyonel ısı pompaları ile adsorbsiyonlu ısı pompalarının COP değerlerinin karşılaştırmalı olarak vermişlerdir. Bu çalışmada konvansiyonel ısı pompaların COP değerleri 3-4 civarında iken Su ve Zeolit ikilisinin değerleri 0,28- 1,4 aralığında olabileceği gösterilmektedir. Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda bu değer 0,42- 0,43 olması literatürdeki çalışmalarla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

## **5. KAYNAKLAR**

Ashrae Journal.(2011).Technical Future, Adsorbtion Refrigeration. Retrieved from <http://www.ashrae.org.tr>.

Demir H. (2008). An experimental and theoretical study on the improvement of adsorption heat pump performance,Doctoral thesis, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye.

Demir H., Mobedi M. And Ülkü S.(2008), A review on adsorption heat pump: Problems and solutions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(2008), p. 2381–2403

Mobedi, M. (2007). A review on adsorption heat pump: Problems and solutions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12 (2008), 2381–2403-2381–2403.

Solmuş, İ. (2011). An experimental study on the performance of an adsorption Cooling system and the numerical analysis of its adsorbent bed,Doctoral thesis, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye.

Ülkü S.(1986),Solar Adsorbtion Heat Pumps, Volume 129 of the series NATO ASI Series pp 424-435

Wang, R.Z.(2001). “Performance improvement of adsorption cooling by heat and mass recovery operation.” International Journal of Refrigeration 24(7):602 – 611.

Wang, R.Z., R.G. Oliveira, (2006). “Adsorption refrigeration, An efficient way to make good use of waste heat and solar energy”, Progress in Energy and Combustion Science, 32(4), p.424 – 458.

Wang, D.C., et al.(2010). “A review on adsorption refrigeration technology and adsorption deterioration in physical adsorption systems.” Renewable and Sustainable Energy Reviews 14(1):344 – 353.

Yıldırım Z. E., İliş G.G., Mobedi M., Ülkü S.(2011), Adsorpsiyonlu Chillerlerde Kullanılabilecek Adsorbent – Adsorbat Çiftlerinin Özellikleri ve Çevrim Performanslarının incelenmesi, X. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, İzmir, 13/16 Nisan.



## Yatay Eksenli Bir Rüzgâr Türbin Kanat Dizaynı

### Design of Horizontal Axis Wind Turbine Blade

Mehmet TEKELİ<sup>1,\*</sup>, Mehmet ÖZTÜRK<sup>2</sup>, Mehmet BAHADIR<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü 42250 KONYA, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 03/03/2017

Kabul/Accepted: 16/05/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Rüzgâr türbinlerinin verimli olarak çalışmasında türbin kanatlarının optimum dizaynı önemli bir faktördür. Bu çalışmada, sonlu elemanlar metodu kullanılarak bir rüzgâr türbin kanadının gerilme analizi yapılmıştır. İlk olarak 13,02 m yarıçapında 150kw gücündeki bir rüzgâr türbin kanadının geometrisi belirlenmiş ve kanat profili olarak NACA-4418 profili seçilmiştir. Daha sonra maksimum güç ilkesinden hareketle rotor devir sayısı bulunarak, kanat kök-veteri ile uç-veteri arasındaki burulma açısı belirlenmiştir. Geometrisi belirlenmiş olan yapı dörtgen ve üçgen kabuk elemanlar ile sonlu elemanlara bölünmüştür. Sonlu elemanlar ile modellenen bir rüzgâr türbin kanat yüzeyindeki basınç katsayıları Vortex-Lattice metodu ile elde edilmiştir. Sonlu elemanlar ile yapı analizi için sınır şartları ve malzeme özellikleri belirlenerek veri dosyası hazırlanmıştır. Hazırlanan veri dosyası kullanılarak bilgisayar programı yardımıyla yapı üzerindeki elemanlarda gerilmeler bulunmuştur. Daha sonra ise elde edilen gerilmelere uygun olarak yapının gerilme renklendirmesi yapılmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Rüzgâr Türbin Kanadı, Sonlu Elemanlar Metodu, Gerilme Analizi”

#### Abstract

The optimum design of the wind turbine blade is a very important factor for the efficient performance of wind turbines. In this study, the stress analysis of a wind turbine blade is done with finite element method. First, the geometry of a wind turbine blade which has a 13.02 m diameter and a power of 150-200 KW is determined and NACA-4418 profile is chosen as the blade profile. Next, according to maximum power principle, number of revolution of the rotor is found then, the torsional angle between root chord of blade and tip chord of blade is determined. After that, the structure whose geometry has been established is divided into finite elements being rectangular and triangular shell elements. In order to determine pressure distribution on the structure, it is modeled as a thin wing at mean line direction by dividing proper Vortex-Lattices with consistency of surface structure analysis. By using data obtained here, aerodynamic pressure coefficients are calculated on every element with the help of computer program. After the analysis of a data file is prepared. The stresses on the elements of the structure are calculated by using computer program with this prepared data file. After that, the structure is colored with different colors according to different stress values.

#### Key Words

“Wind Turbine Blade, Finite Element Method, Stress Analysis”



## 1. GİRİŞ

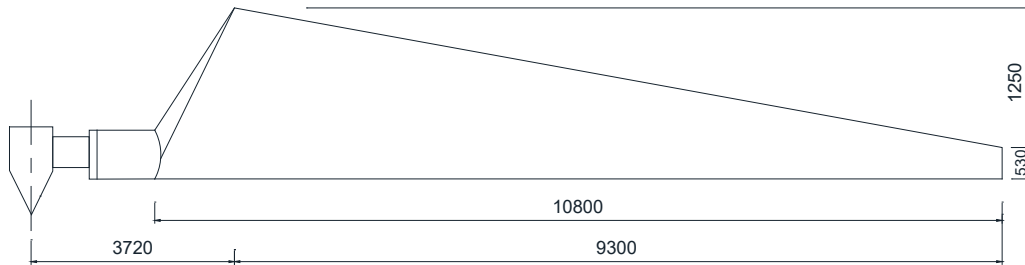
Teknoloji ve sanayi çağını yaşamakta olduğumuz asrımızda enerji oldukça önemli bir yere sahiptir. Enerjinin yeterli, zamanında, kaliteli, ekonomik, güvenilir ve temiz olarak sunumu günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeylerini belirleyen önemli göstergelerdir. Karbonlu yakıtların ömürlerinin sınırlı olması ve bu yakıtlara dayalı enerji krizleri sebebiyle alternatif enerji kaynaklarının teminine yönelik çalışmalar hızla artmaktadır. Bu çalışmaların bir sonucu olarak güneş, rüzgar, nükleer ve hidrolik enerji kaynaklarının kullanılabilirliği yaygınlık arz etmektedir. Sanayileşme ve teknolojinin getirdiği faydaların yanında çevre kirliliğine sebebiyet verilmesi de günümüzde oldukça önemli bir problem arz etmektedir. 1970'li yıllardaki petrol krizi rüzgar türbinlerinin gelişimine önemli oranda katkı sağlamış ve rüzgar enerjisi dünyada birçok ülkenin yararlandığı enerji kaynağı haline gelmiştir (Bayrakçı, 2007). Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgar enerjisi temiz bir enerji kaynağı olması dolayısıyla da ayrı bir öneme sahiptir. Rüzgardan enerji elde edilmesi oldukça eski bir düşünce olup, yelkenli gemilerde ve yel değirmenlerinde yaklaşık 2500 yıldır bu enerjiden faydalanıldığı bilinmektedir.

Rüzgar türbinleri, rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Türbin kanatlarının optimum dizaynı, rüzgar türbinlerinin verimine önemli oranda etki etmektedir. Rüzgar türbininin maksimum verimle çalışması çeşitli faktörlere bağlıdır. Türbinin yüksekliği, türbin kanadının süpürme alanı, aerodinamik yapısı, kanat geometrisinin açıları, havanın yoğunluğu ve rüzgar hızı bu faktörlerden bazılarıdır (Onat, 2004).

Rüzgar türbinlerine rüzgar kuvveti ve atalet kuvveti etki etmektedir. Rüzgar kuvveti nedeniyle kanat üzerinde oluşan basınç kanat yapısında yer değiştirme ve gerilmelere neden olmaktadır. Bu durum rüzgar türbin kanatlarının ömürlerini belirlemektedir (Cox, Echtermeyer, 2012). Bu kuvvetler nedeniyle ortaya çıkan gerilmeler malzeme emniyetli gerilme sınırını aşması durumunda kırılma meydana gelmektedir. Türbin kanatlarının dizaynında çevre şartları ve kanat elemanı özellikleri ele alınarak analiz edilmesi gerekmektedir (Bechly, Clausen, 1997). Bir rüzgar türbin kanadının sonlu elemanlar ağ yapısı oluşturularak, kanat teorisi ve tasarım verilerinin kullanılması ile hazırlanan bilgisayar yazılımı yardımıyla rüzgar türbin kanadının statik ve dinamik yüklemeler için optimize edilmesi sağlandı (El-Chazly, 1993), (Younsi, vd., 2001), (Hameed, Afag, 2013).

## 2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada rüzgar türbin kanadı analizinin yapılabilmesi amacıyla yüzeysel boyutları belirlenen (13.02) m çapında, (150) kw gücündeki bir rüzgar türbin kanat geometrisi esas alındı (Şekil 1). Kanat profili olarak, taşıma ve moment katsayıları dikkate alınarak, rüzgar türbinleriyle ilgili çalışmalarda kullanılmış olan NACA-4418 profili seçildi (Abboot, Doenhoff, 1949). 3003 Alüminyum malzeme özellikleri Tablo 1. de verilmiştir.



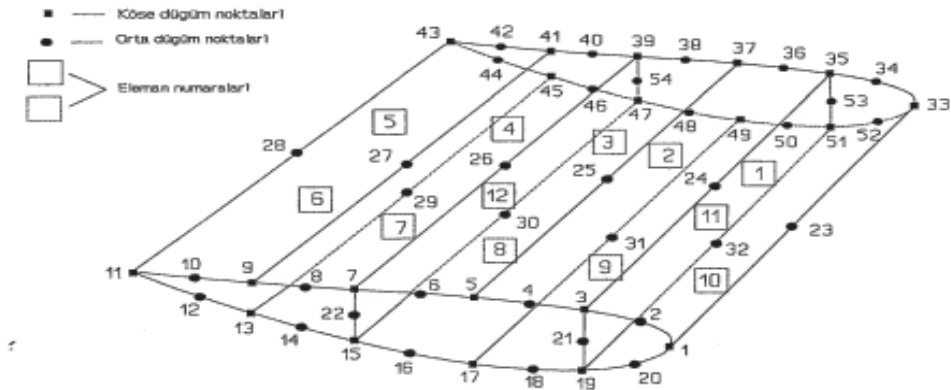
Şekil 1. 150 kw gücünde bir rüzgar türbin kanadı.

Tablo 1. 3003 Alüminyum malzemenin mekanik özellikleri

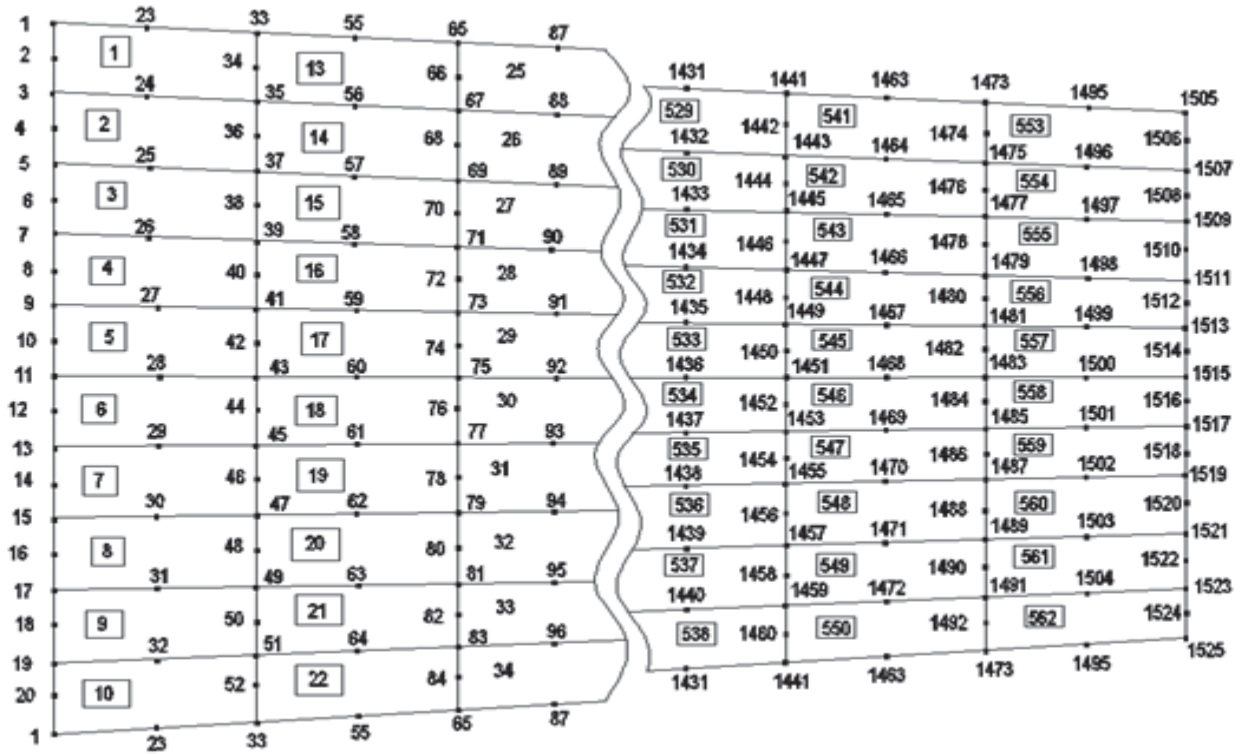
Malzeme	E (GPa)	$\nu$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ (MPa)
3003 Al	70	0,33	2730	110

Dış yüklerin etkisi altında kanattaki burulmayı önlemek amacıyla kök-veterden uç-vetere kadar profilin kayma merkezi (S.C.) ve bu merkeze göre burulması (dönmesi) hesaplandı. Profilin apsis ve ordinat değerleri bulunan kayma merkezine taşınarak, profilin

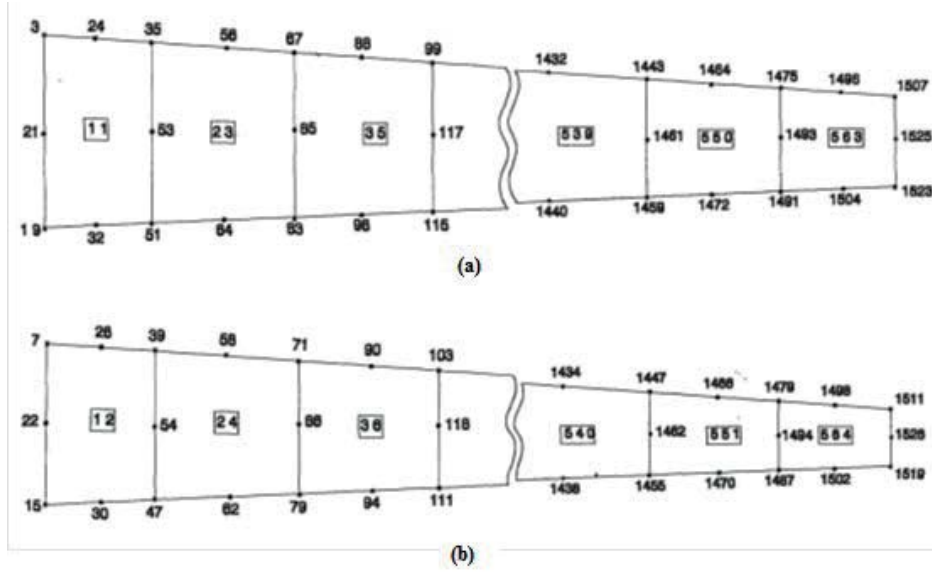
Yeni apsis ve ordinat değerleri elde edildi. Maksimum güç ilkesine göre kanat devir sayısı belirlendi. Dış geometrisi belirlenmiş olan yapı sonlu elemanlar modellemesi için, iki istasyon arasında 12 eleman olmak üzere 47 istasyonda toplam 569 elemana ayrıldı. Bu modellemede dörtgen ve üçgen kabuk elemanlar kullanıldı (Şekil 2-6).



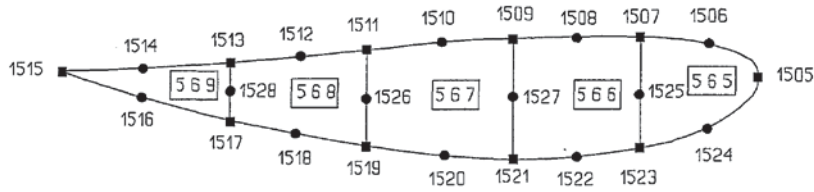
Şekil 2. Yapının bir aerofil bölgesinin sonlu eleman modellemesi



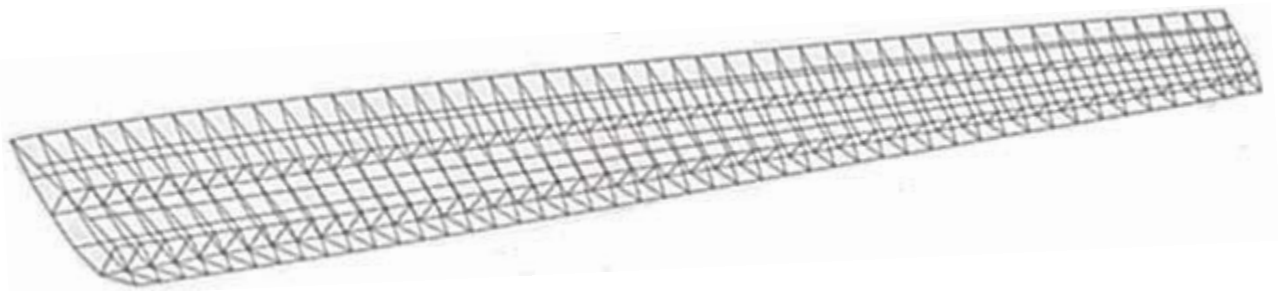
Şekil 3. Yapının sonlu eleman modellemesi (Alt ve üst yüzey elemanları)



Şekil 4. Yapının sonlu eleman modellemesi (1. ara takviye (a) ve 2. ara takviye (b) elemanları)



Şekil 5. Yapının sonlu eleman modellemesi (Uç veter kapağı)



Şekil 6. Sonlu elemanlar ile modellenen rüzgar türbin kanadı

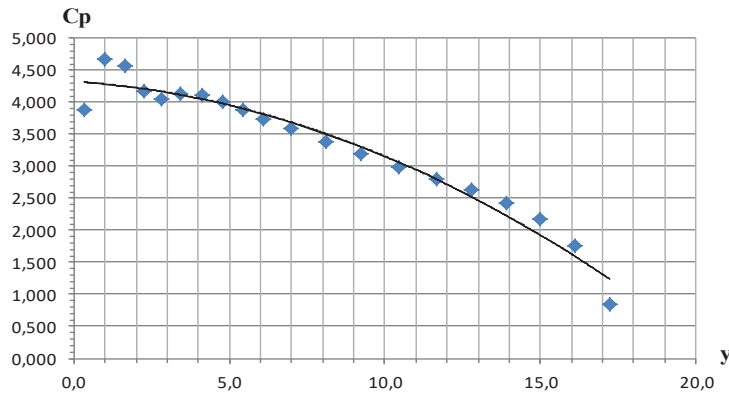
İstasyon sayısı, bir profil üzerindeki nod sayısı ve bu nodların x,y,z - koordinatları, kanat devir sayısı, ara eleman sayısı, ara elemanların bağlı olduğu nod numaraları v.s. gibi öz değerlerin data dosyası olarak girilmesiyle, sonlu elemanlara bölünen yapının Autocad ile çizimi ve yapı analizi programı için data dosyası üreten bir bilgisayar programı hazırlandı.

Yapı analizinde rüzgar etkisinden dolayısıyla oluşan basınç yükleri dış yük olarak girildi. Her bir eleman üzerindeki basınç yüklerinin bulunması amacıyla aerodinamik basınç katsayılarının elde edileceği program için, yapının sonlu eleman modellemesi bu kez panel eleman olarak; yalnızca orta eksenden geçen yüzey elemanlar olarak modellendi. Bu modellemede de sonlu eleman modellemesinde kullanılan data dosyası hazırlanan başka bir program da çalıştırılarak datarlar üretildi. Üretilen datarlar gerekli aerodinamik özelliklerde girilerek (kanat devir sayısı, kanat burulma açısı v.s.) Vortex-Lattice metodu ile bilgisayarda çözülerek panel elemanlardaki basınç katsayıları elde edildi. Burada yapı orta eksenden geçen elemanlar gibi düşünüldüğünden hesaplanan bu basınç katsayıları yalnızca üst yüzey elemanlarına etki ettirildi. Böylece yapı analizi için modellenen yapının sonlu elemanlarına uygun olarak aerodinamik basınç katsayıları elde edildi (Tekeli, 2016).

Basınç katsayıları daha sonra yapı analizi için hazırlanan data dosyasında yazıldı. Eleman özelliklerinin de data dosyasına yazılması ile oluşturulan yapı analizi data dosyası hazır hale getirildi (Tekeli, 1993). Sonlu elemanlar metodu kullanılarak hazırlanan bilgisayar programı çalıştırıldı (Mecitoğlu, 1988). Kanat modellenmesine uygun elemanlar için gerilme değerleri ve elemanların bağlı olduğu nodların deplasman değerleri elde edildi. Gauss noktası için elde edilen gerilme değerleri sonlu elemanların köşe noktalarına interpolate edildi. Yapının gerilme dağılımının kolayca incelenebilmesi amacıyla hesaplanan gerilmelerin yapıya uygun renklendirilmesi yapıldı. Türbin kanadında rüzgar yükleri nedeniyle meydana gelen deplasmanlı yapı Autocad programı kullanılarak çizildi (Tekeli, 2015).

### 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Kanat profili üzerinde basınç katsayısı değerlerinin hücum kenarından firar kenarına doğru azaldığı tespit edilmiştir. Hücum kenarı tarafından veter uzunluğunun %20 si olan bölümde basınç katsayılarının 1/3 oranında azaldığı görülmüştür. Kök kesitten uç kesite doğru basınç katsayısı değerlerinin belirgin olarak bir azalma gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Kök kesitten uç kesite doğru basınç katsayısı değişimi

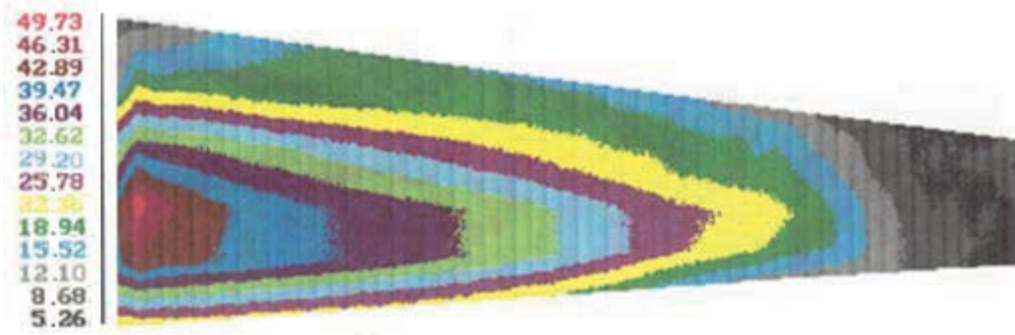
Bu çalışmada amaç statik durum analizi olduğundan yalnızca statik yükler yapı üzerine etki ettirilmiştir. Burada gerilme hesabına etki eden temel yükler, rüzgar yükleri, ağırlık kuvvetleri, atalet kuvvetleri ve termal yüklerdir. Bu çalışmada statik kuvvetler olarak; rüzgar yüklerinden dolayı hasıl olan basınç kuvvetleri, yapının kendi elemanlarının ağırlığından dolayı ağırlık kuvvetleri ve dönme hareketinden dolayı da merkezkaç kuvvetler modellenen yapıdaki her bir eleman için dikkate alınmıştır. Kanat kök kesitindeki profil üzerindeki nodlardan ankastre olarak bağlanmıştır. Kanat kabuk kalınlıkları ilk aşamada;

Gövde sacı kalınlığı	1,2 mm
1.Ara takviye elemanları	4,0 mm
2.Ara takviye elemanları	3,0 mm
Uç veter kapak sacı	1,2 mm

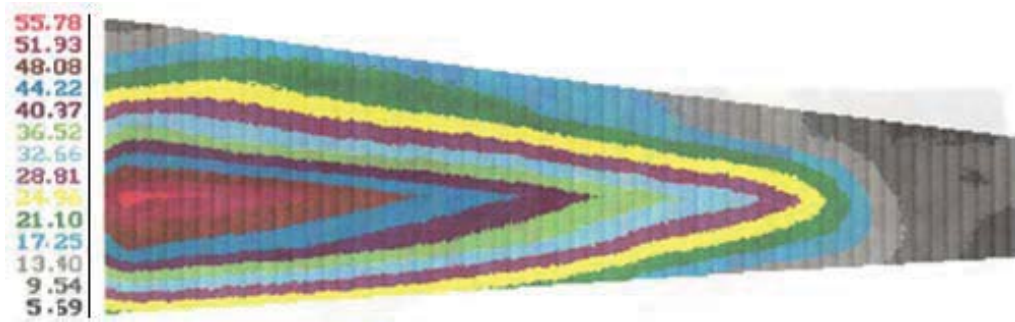
alınarak program çalıştırılmıştır. Yapı üzerinde hesaplanan gerilmelerde, maksimum gerilmenin malzemenin emniyetli gerilme değerine göre çok küçük bir değerde olduğu tespit edilmiştir. ( $\sigma_{max} = 15,12$  MPa halbuki  $\sigma_{em} = 73,30$  MPa idi.) Böylece yapının temel eleman kalınlıkları değiştirilerek optimum kalınlıklar tespit edilmiştir. Gövde sacı ve uç veter kapak sacı kalınlıkları 0,4 mm, diğer elemanların kalınlıkları ise değiştirilmemiştir.

Bu tür yapıların montajındaki güçlükler ve atalet yükleri için ağırlık önemli bir faktördür. Malzeme tasarrufu sağlaması açısından da kalınlığın optimum olması önem kazanmaktadır. Yapının gerilme renklendirme grafiklerinden (Şekil 8-12) de görüldüğü gibi en büyük gerilmeler kök kesite yakın bölgelerde meydana gelmektedir. Kök kesitten uç kesite doğru gerilmeler azalan bir durum

arz etmektedir. Kanat kök kesitten ankastre bağlı bir kiriş gibi düşünülür ise, maksimum momentler ve dolayısıyla da max. gerilmeler kök kesitte meydana gelmektedir. Yapılan analizde max. gerilme kanat alt yüzeyinin kök kesitinde  $\sigma_{max} = 55,78$  MPa olarak elde edilmiş ve  $\sigma_{em} = 73,30$  MPa olduğu için yapıyı meydana getiren bütün elemanların emniyet sınırı içinde kaldığı görülmüştür. Maksimum gerilmeler kök kesitte yakın elemanlarda meydana geldiğinden bu kesitteki elemanların kalınlıkları artırılarak, gerilmelerin az olduğu bölgelerdeki elemanların kalınlıkları daha da azaltılırsa atalet yüklerinin gerilmelere etkisi azaltılabilir (Tekeli, 1993). Yükleme sonucunda kanat yapısındaki yer değiştirmeler Şekil 13’de görülmektedir.



Şekil 8. Rüzgar türbin kanadının üst yüzeyindeki gerilmeler (MPa)



Şekil 9. Rüzgar türbin kanadının alt yüzeyindeki gerilmeler (MPa)



Şekil 10. Rüzgar türbin kanadının birinci ara destek elemanındaki gerilmeler (MPa)

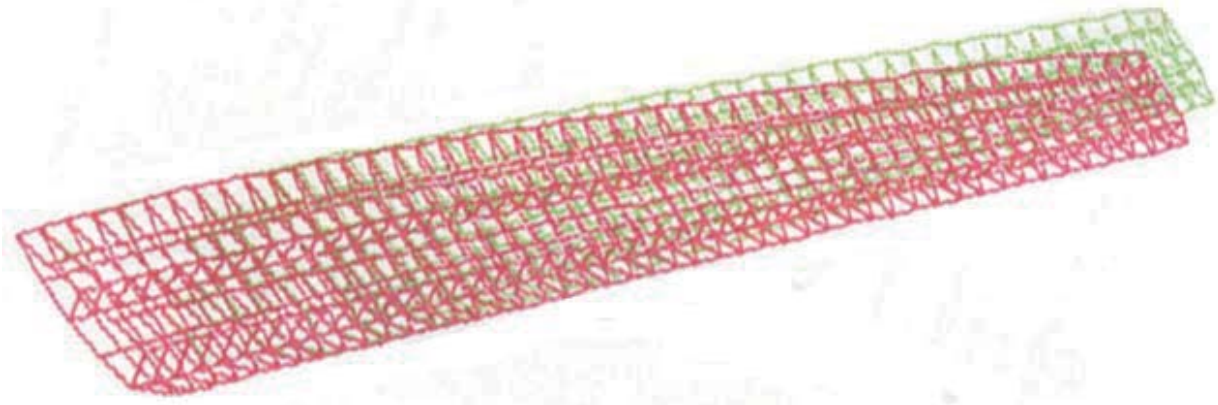




Şekil 11. Rüzgar türbin kanadının ikinci ara destek elemanındaki gerilmeler (MPa)



Şekil 12. Rüzgar türbin kanadının uç kapak elemanındaki gerilmeler (MPa)



Şekil 13. Yüksüz (yeşil renkli) ve yüklenmiş (kırmızı renkli) yapının karşılaştırması



#### 4. ÖNERİLER

Enerji kaynaklarının sınırlı olduğu ve temiz enerji kaynağı olarak rüzgar enerjisinden yararlanma düşüncesi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için büyük önem arz etmektedir. Rüzgar türbinleri ile enerji üretiminde en önemli elemanlardan birisi türbin kanatlarıdır. Kanatların optimum dizaynı ve kanat geometrilerinin belirlenmesi türbin verimini önemli oranda etkilemektedir. Yapılan bu çalışma ile hazırlanan ve de daha evvel mevcut olan bilgisayar programları kullanılarak, çok kısa bilgiler veri olarak girildiğinde, rüzgar türbinlerinin önemli bir elemanı olan kanatların dizaynı için, rotor devir sayısı, kanat konum açısı, uç veterin kök vetere göre burulma açısı ve yapıyı oluşturan elemanların optimum kalınlıkları belirlenebilmektedir. Bu çalışmada dinamik bir analiz yapılmamıştır. Yine de vurgulamak gerekir ki bu tür bir optimizasyon çalışmasında statik analiz ile birlikte aero-elastik analiz, yorulma analizi, serbest veya zorlanmış titreşim analizlerinin de yapılması gereklidir.

#### 5. REFERANSLAR

Abboot, H. I., and Doenhoff, A. E. (1949). Theory of Wing Sections, McGraw Hill, New York.

Bayrakçı H. C. (2007). Delikanlı K., Türkiye’de Rüzgar Enerjisi ve Potansiyel Belirleme Çalışmaları, Mühendis ve Makine Cilt 48, Sayı 569, 78-80 s.

Bechly M. E., Clausen P. D. (1997). Structural Design of a Composite Wind Turbine Blade Using Finite Element Analysis, Computer and Structure, 63, (3), 639-646.

Cox K., Echtermeyer A. (2012). Structural Design and Analysis of a 10 MW Wind Turbine Blade, Energy Procedia, 24, 194-201.

Hameed M. S., Afag S. K. (2013). Design and Analysis of a Straight Bladed Vertical Axis Wind Turbine Blade using Analytical and numerical techniques, Ocean Engineering, 57, 248-255.

El-Chazly N. M. (1993). Static and Dynamic Analysis of Wind Turbine Blades Using The Finite Element Method, Computer and Structure, 1993, 48, (2) 273-290.

Goeij W. C., Tooren M. J. L., Beukers A. (1999). Implementation of Bending-Torsion Coupling in the Design of a Wind Turbine Rotor Blade, Applied Energy, 63, 191-207.

Mecitoğlu Z. (1988). Takviyeli Dairesel Silindirik Kabuk Yapıların Serbest Titreşimlerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Onat C., Kepçeler T., Orgül B. O. (2004). Rüzgar Türbini Kanatlarının Katı Modellemesi, Mühendis ve Makine Cilt 45, Sayı 533, 41-47 s.

Tekeli M. (1993). Bir Rüzgar Türbin Palasının Yapı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tekeli M. (2015). Stress Analysis of a Wind Turbine Blade Loaded with Static Load, 1nd International Conference on Science, Ecology and Technology, Iconsete, Vienna, Austria, 205.

Tekeli M. (2016). Indicating Pressure Distribution on the Surface of a Wind Turbine Blade, 2nd International Conference on Science Ecology and Technology, Iconsete, Barcelona, Spain, 1024-1032.

Younsi R., El Batanony I., Tritsch B. J., Naji H., Landjerit B. (2001). Dynamic Study of Wind Turbine Blade with Horizontal Axis, European Journal of Mechanics A/Solids, 20, 241-252.



## Akrilamid-Krotonik Asit İç İç Geçmiş Ağ Yapılı Hidrojellerinin Metilen Mavisinin Adsorpsiyonunda Kullanımı

### The Use of Acrylamide-Crotonic Acid Nested Network Structured Hydrogels for Adsorption of the Methylene Blue

Murat İNAL<sup>1</sup>, Beste ÇAĞDAŞ TUNALI<sup>1</sup>, Mustafa YİĞİTOĞLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Yahşihan, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 07/12/2016

Kabul/Accepted: 13/02/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Bu çalışmada akrilamid-krotonik asit hidrojelleri metilen mavisi boyasının gideriminde adsorban olarak kullanılmıştır. Boyanın adsorpsiyonuna pH'nın, krotonik asit yüzdesinin, başlangıç boya derişiminin ve tekrar kullanım sayısının etkisi araştırılmıştır. Yalnızca akrilamidle hazırlanan hidrojellerde pH'nın artması ile adsorpsiyonda bir miktar artış görülmüştür. Akrilamid-krotonik asit hidrojellerinde pH 7, 9 ve 10'da adsorpsiyon hemen hemen yakın bulunmuş, buna karşılık pH 8'de belirgin bir azalma gözlenmiştir. Hidrojellerde bulunan krotonik asit yüzdesinin artması ile adsorpsiyon belirgin bir şekilde artmıştır. Ayrıca adsorpsiyon-desorpsiyon çalışmaları sonucu göstermektedir ki, 20 kere tekrar kullanımdan sonra bile hidrojellerin adsorpsiyon kapasitesi hemen hemen hiç azalmamıştır. Sonuçlar akrilamid-krotonik asit hidrojellerin endüstriyel ölçekte tekstil atık sularından boyaların gideriminde adsorban olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

#### Anahtar Kelimeler

“akrilamid, krotonik asit, hidrojel, metilen mavisi, adsorpsiyon, tekstil”

#### Abstract

In this study acrylamide-crotonic acid hydrogels are used as adsorbent for removal of methylene blue. The effects of pH, crotonic acid percentage, initial dye concentration and reuse number on the adsorption of the dye are investigated. When the pH increased adsorption also slightly increased with the hydrogels made up of only acrylamide. With the acrylamide crotonic acid hydrogels adsorption rates are similar in pH 7,9 and 10 but there is a significant decrease in pH 8. Adsorption increases with the increasing crotonic acid percentage in hydrogels. In addition, the adsorption-desorption results showed that the adsorption capacity of the hydrogel was not changed even after 20 times repeated use. Results show that acrylamide-crotonic acid hydrogels can be used as adsorbent for dye removal in industrial textile waste water.

#### Key Words

“acrylamide, crotonic acid, hydrogel, methylene blue, adsorption, textile”

## 1. GİRİŞ

Boya ve boyar maddeler tekstil, plastik, gıda, kozmetik, halı ve kâğıt gibi çeşitli endüstriyel sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [Aksu, Z. (2005), Çelekli, A. Yavuz atmaca, M., & Bozkurt, H. (2009), Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P. (2001), Vijayaraghavan, K., & Yun, Y.S. (2008)]. Atıkların içerisinde bulunan sentetik boyaların sudaki çözünürlükleri yüksek olduğu için bunlar önemli bir su kirliliği kaynağıdır. Boyaların kullanıldığı bu sanayilerin atık sularında bulunan sentetik boyaların sudaki çözünürlükleri yüksek olduğu için bunlar önemli bir su kirliliği kaynağıdır ve bu boyalar çeşitli mikroorganizmalar ile diğer yaşam formları için zehirli, hatta kanserojen etkiler bile gösterebilmektedir. Ayrıca bu boyaların biyolojik olarak parçalanması sonucu son derece toksik aromatik aminler meydana gelmektedir. Boya içeren atık suların göl, nehir, akarsu gibi çeşitli sulara boşaltılması, güneş ışınlarının suyun içine difüzyonunu zorlaştırmakta, fotosentezi azaltmakta, çeşitli hastalıklara sebep olmaktadır ve bunun bir sonucu olarak ekolojik denge bozulmaktadır [Çelekli, A. Yavuz atmaca, M., & Bozkurt, H. (2009), Dulman, V., & Cucu-Man, S.M. (2009), Jesus, A.M.D. et al. (2011), Khaled, A., El Nemr, A., El-Sikaily, A.E.A., & Abdelwahab, O. (2009), Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P. (2001), Zollinger, H. (1987)].

Boya giderimi için; kimyasal çöktürme, topaklaştırma, membran filtrasyon, kimyasal, fotokimyasal ve biyolojik parçalanmayı içeren bir dizi yöntem vardır. Ancak bu yöntemlerin önemli ölçüde enerji gereksinimleri vardır, bu yüzden yüksek ekonomik ve çevresel maliyetleri sebebiyle kullanımları sınırlıdır, ayrıca bunların hiçbiri boyaların atık sularından tamamen uzaklaştırılmasında başarılı değildir [Absalan, G. et al. (2011), Çelekli, A., İlgün, G., & Bozkurt, H. (2012), Dizge, N. et al. (2008), O'Neill, C. et al. (1999), Salleh, M.A.M., Mahmoud, D.K., Karim, W.A.W.A., & Idris A. (2011), Slokar, Y.M., & Le Marechal, A.M. (1997), Srinivasan, A., & Viraraghavan, T. (2010)]. Ayrıca sentetik tekstil boyaların kimyasal, fotokimyasal ve biyolojik yollarla parçalanması oldukça zordur [Arıca, M.Y., & Bayramoğlu, G. (2007), Radha, K.V., Regupathi, A., Arunagiri, T., & Murugesan, T. (2005), Won, S.W. et al. (2004)]. Adsorpsiyon tekniği endüstriyel işlemlerde ayırma veya saflaştırma amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, adsorpsiyon tekniklerinin tekstil boyalarının atık sularından giderilmesinde uygun bir yol olduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir [Arıca, M.Y., & Bayramoğlu, G. (2007), Çelekli, A. Yavuz atmaca, M., & Bozkurt, H. (2009), Çelekli, A., İlgün, G., & Bozkurt, H. (2012), Dizge, N. et al. (2008), Jesus, A.M.D. et al. (2011), Hsu, T.-C. (2008)].

Metilen mavisi keten, ipek kumaş, kâğıt, bambu, odun boyanmasında ve renklendirilmesinde kullanılan fakat insanlar ve sucul sistemler için toksik olduğu bilinen bir katyonik boyadır. Hatta 1 ppm kadar düşük konsantrasyonlarda bile su içine güneş ışınlarının difüzyonunu azaltmakta ve sudaki canlı sistemlerinin fotosentetik işlemlerini etkilemektedir. Metilen mavisi nefes alma, sindirim ve deri teması ile vücuda alındığı zaman tehlikelidir. Akut olarak maruz kalındığı zaman insanda kalp hızı artışı, şok, Heinz vücut oluşumu, kusma, siyanoz, sarılık ve doku nekrozuna artmasına neden olabilmektedir. Ayrıca metilen mavisi insanlarda santral sinir sistemi için toksik olup, belirli bir enzim eksikliği olan insanlar için tehlikelidir. Bu nedenle, çevreye boşaltılmadan önce atık sularından giderilmesi gereklidir [Guo, R., & Wilson, L.D. (2012), Wang, W. et al. (2015)].

Krotonik asit hidrojenleri ile yapılan çalışmaların sayısı çok sınırlıdır. Ayrıntılı olarak yapılmış boya adsorpsiyon çalışmasına rastlanılmamıştır. Bu çalışmada akrilamid/krotonik asit hidrojenleri metilen mavisi boyasının gideriminde adsorban olarak kullanılacaktır. İlk olarak çeşitli yüzdelerde krotonik asit içeren hidrojenler N,N'-metilen bisakrilamid çapraz bağlayıcısı, amonyum peroksidisülfat başlatıcısı kullanılarak sentezlenecektir. Sentezlenen hidrojenler ilk olarak fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrofotometre ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) çalışmaları ile karakterize edilecek, daha sonra hidrojenler üzerine metilen mavisi boyasının adsorpsiyonuna pH'nın, sürenin, krotonik asit yüzdesinin, başlangıç boya derişiminin ve tekrar kullanım sayısının etkisi araştırılacaktır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Kullanılan Kimyasallar

Akrilamid, metilen mavisi ( $C_{16}H_{18}N_3SCl$ ,  $\lambda_{mak}=665nm$ ), amonyum peroksidisülfat,  $H_3BO_3$ , KCl ve  $Na_2B_4O_7$  Merck (Almanya) firmasından, N,N'-metilen bisakrilamid,  $Na_2HPO_4$ ,  $NaH_2PO_4$ , HCl Sigma-Aldrich (Amerika) firmasından, krotonik asit Fluka (İsviçre) firmasından temin edilmiş ve alındıkları şekilde kullanılmışlardır.

### 2.2. Kullanılan Cihazlar

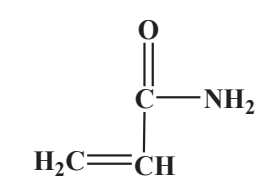
Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrofotometre; Bruker marka, Vertex 70V model, Almanya.  
Taramalı elektron mikroskopu (SEM); JSM 5600, Japonya.  
Çalkalamalı su banyosu; Jeio Tech marka, BS21 model, Kore.  
Hassas terazi; Sartorius marka, CP224S model, Almanya.  
UV-GB spektrofotometre; Shimadzu marka, UV-1800 model, Japonya.

### 2.3. Akrilamid ve Akrilamid/Krotonik Asit Hidrojenlerinin Sentezi

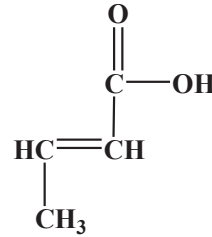
Akrilamid hidrojelleri, akrilamid, N,N-metilen bisakrilamid ve amonyum peroksidisülfatın 10 mL saf suda çözülerek petri kabına alınması ve su banyosu içerisinde 70 °C’de 2 saat boyunca polimerleşmesi ile hazırlanmıştır. Akrilamid/krotonik asit hidrojelleri, akrilamide molar oran olarak %20, 40, 60 ve 80 krotonik asit eklenerek aynı yöntemle hazırlanmıştır. Hidrojellerin hazırlanma prosedürü Tablo 1’de verilmiştir. Hidrojeller oluşturulduktan sonra yaklaşık 6 mm çaplı daire şeklinde bir aparat ile kesilmiş, saf su ile çalkalamalı su banyosunda 3 defa yıkanmış ve adsorpsiyon çalışmalarına kadar saf suda bekletilerek saklanmıştır. Elde edilen hidrojeller fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrofotometre ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) çalışmaları ile karakterize edilmiştir. Hidrojellerin oluşumunda kullanılan kimyasalların yapısı Şekil 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Hidrojellerin hazırlanması kullanılan kimyasalların miktarları

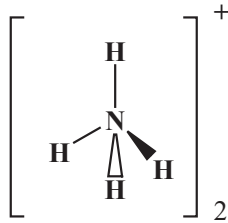
Madde	Derişim (Molarite)
Akrilamid	1,24
N,N-metilen bisakrilamid	0,14
Amonyum peroksidisülfat	0,0276
Krotonik asit	Akrilamide molar oran olarak sırasıyla %20, 40, 60 ve 80 olarak eklendi



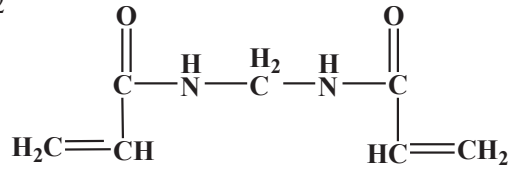
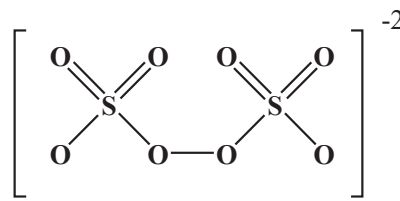
Akrilamid (Monomer)



Krotonik Asit (Monomer)



Amonyum peroksidisülfat (Baslatıcı)



N,N-metilen bisakrilamid (Çapraz bağlayıcı)

**Şekil 1.** Akrilamid hidrojelinin oluşumunda kullanılan kimyasalların yapısı

## 2.4. Adsorpsiyon Çalışmaları

### 2.4.1. pH Çalışması

Adsorpsiyon; akrilamid ve akrilamid–krotonik asit (Molar olarak %20 krotonik asit içeren) hidrojelleri ile yürütülmüştür. Adsorpsiyon çözeltisi 200 ppm metilen mavisi içerecek şekilde, pH değerleri 7, 8, 9 ve 10 olacak şekilde (pH 7 ve 8 için  $\text{HPO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , pH 9 ve 10 için  $\text{H}_3\text{BO}_3-\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$  tamponları kullanıldı) toplam hacim 25 mL olarak erlende hazırlanmıştır. Adsorpsiyon çözeltisine 6 adet hidrojel atılıp tüm adsorpsiyon çalışmaları 25°C’de 100 rpm çalkalama hızında su banyosunda gerçekleştirilmiştir. Adsorplanan boya miktarları 665 nm dalga boyunda UV-GB spektrofotometresinde ölçülerek belirlenmiştir. Birim kütle başına adsorpsiyon,  $q_e$  (mg/g) dengedeki adsorplanan madde miktarı olmak üzere aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır;

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{M}$$

Burada  $C_o$  ve  $C_e$  sırasıyla ppm (mg/L) olarak başlangıçta ve dengedeki boya çözeltisinin derişimi, V litre olarak çözeltinin hacmi ve M gram olarak adsorban maddenin kütlesi olarak alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Hidrojellerin boya adsorpsiyonundan önce ve sonraki görüntüleri

#### 2.4.2. Süre Çalışması

Adsorpsiyon; akrilamid ve akrilamid-krotonik asit (Molar olarak %20 krotonik asit içeren) hidrojelleri ile yürütülmüştür. Adsorpsiyon çözeltisi 200 ppm metilen mavisi, pH 9 tamponu ile toplam hacim 25 mL olarak erlende hazırlanmıştır. Adsorpsiyon çözeltisine 6 adet hidrojel atılmış ve adsorpsiyon çalışmaları 30-360 dakika aralığında 25°C'de 100 rpm çalkalama hızında su banyosunda gerçekleştirilmiştir. Adsorplanan boya miktarları 665 nm dalga boyunda UV-GB spektrofotometresinde ölçülerek belirlenmiştir.

#### 2.4.3. Krotonik Asit Yüzdesi Çalışması

Adsorpsiyon %20, 40, 60 ve 80 krotonik asit içeren hidrojeller ile yürütülmüştür. Adsorpsiyon çözeltisi 200 ppm metilen mavisi, pH 9 tamponu ile toplam hacim 25 mL olarak erlende hazırlanmıştır. Adsorpsiyon çözeltisine 6 adet hidrojel atılmış ve 25°C'de 100 rpm çalkalama hızında su banyosunda 24 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Adsorplanan boya miktarları 665 nm dalga boyunda UV-GB spektrofotometresinde ölçülerek belirlenmiştir.

#### 2.4.4. Derişim Çalışması

Adsorpsiyon %80 krotonik asit içeren hidrojeller ile yürütülmüştür. Adsorpsiyon çözeltisi 50-1000 ppm aralığında metilen mavisi içerecek şekilde, pH 9 tamponu ile toplam hacim 25 mL olarak erlende hazırlanmıştır. Adsorpsiyon çözeltisine 6 adet hidrojel atılmış ve 25°C'de 100 rpm çalkalama hızında su banyosunda 24 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Adsorplanan boya miktarları 665 nm dalga boyunda UV-GB spektrofotometresinde ölçülerek belirlenmiştir.

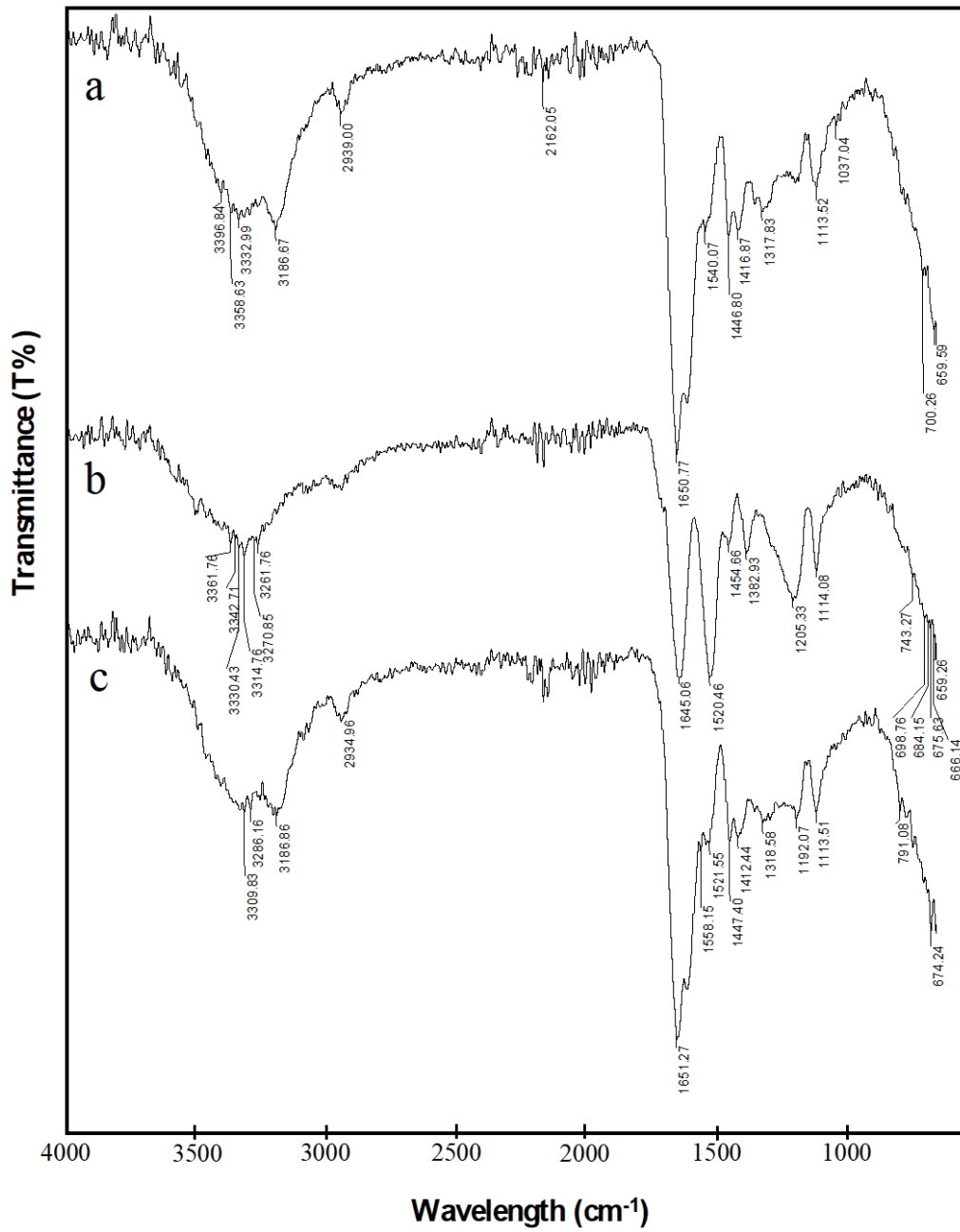
#### 2.4.5. Desorpsiyon Çalışması

Adsorpsiyon-desorpsiyon çalışmaları %80 krotonik asit içeren hidrojeller ile yürütülmüştür. Adsorpsiyon çözeltisi 200 ppm metilen mavisi, pH 9 tamponu ile toplam hacim 25 mL olarak erlende hazırlanmıştır. 24 saat süre ile adsorpsiyon gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyondan sonra hidrojeller alınmış ve 25 mL pH 2 KCl-HCl tamponu içine atılarak 1 saat süreyle 25°C'de 100 rpm çalkalama hızında su banyosunda desorpsiyon gerçekleştirilmiştir. Desorpsiyondan sonra hidrojeller tekrar adsorpsiyon çözeltisine atılmış ve bu işlem 20 kere tekrar edilmiştir. Adsorplanan boya miktarları 665 nm dalga boyunda UV-GB spektrofotometresinde ölçülerek belirlenmiştir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Hidrojellerin Karakterizasyonu

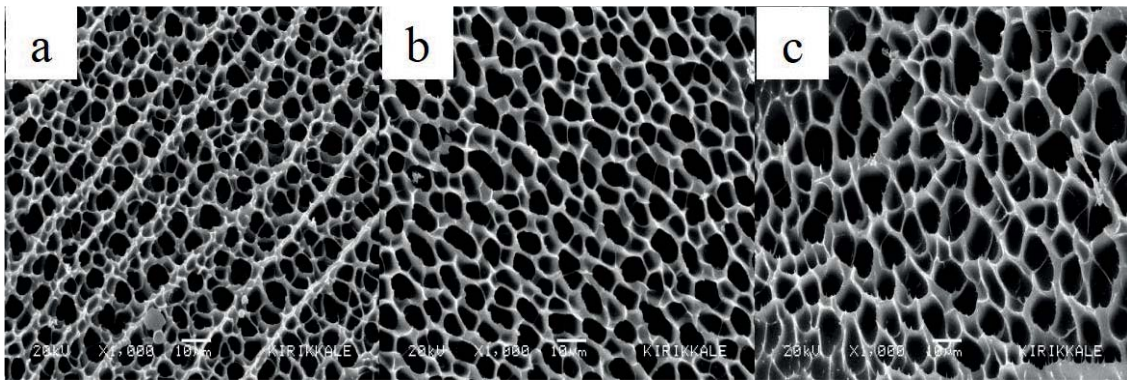
Akrilamid ve akrilamid/krotonik asit hidrojellerinin yapısı FTIR ve SEM çalışmaları ile karakterize edilmiş ve sonuçlar sırasıyla Şekil 3 ve 4'te verilmiştir. Şekil 3'te akrilamid, %80 krotonik asit içeren akrilamid/krotonik asit ve krotonik asit hidrojellerinin FTIR spektrumları verilmiştir. Şekil 3.a'da akrilamid hidrojellere ait FTIR spektrumu incelendiğinde 1650 ve 1540 cm<sup>-1</sup>'deki pikler sırasıyla -CONH<sub>2</sub> grubunun amid I ve amid II için C=O gerilme titreşim bantlarına, 1600 cm<sup>-1</sup>'deki pikin N-H düzlem içi eğilme titreşimine ait olduğu, 1446, 1416 ve 1113 cm<sup>-1</sup>'deki bantların ise sırasıyla amid II'nin N-H düzlem içi eğilme, C-N gerilme ve C-O gerilme titreşimlerine ait olduğu düşünülmektedir [Aktaş Uygun, D., Uygun, M., Akgöl, S., & Denizli, A. (2015), Kaith, B. S., Jindal, R., Sharma, R. (2015), Sharma, K. Et al. (2013)]. Şekil 3.b'de krotonik asit hidrojellerinin spektrumunda 1645 ve 1520 cm<sup>-1</sup>'deki piklerin sırasıyla -COOH grubu üzerindeki simetrik ve asimetrik C=O gerilme titreşim bantlarına karşılık geldiği düşünülmektedir [Wang, W. et al. (2015)]. Şekil 3.c'de %80 krotonik asit içeren akrilamid/krotonik asit içeren hidrojeller de 1520 cm<sup>-1</sup>'de akrilamid hidrojellerinin spektrumundan farklı olarak C=O asimetrik gerilme titreşim bantının bulunması krotonik asit moleküllerinin yapıya girdiğinin bir kanıtı olarak gösterilebilir.



Şekil 3. Hidrojellerin FTIR spektrumları (a: akrilamid hidrojeller; b: krotonik asit hidrojeller; c: %80 krotonik asit içeren akrilamid/krotonik asit içeren hidrojeller)

Şekil 4.a, b ve c'de sırasıyla akrilamid, %20 krotonik asit içeren akrilamid/krotonik asit ve %80 krotonik asit içeren akrilamid/krotonik asit hidrojellerinin SEM fotoğrafları görülmektedir. SEM fotoğrafları incelendiğinde hidrojeller üzerinde iç içe geçmiş ağ yapılı, gözenekli kanalların olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca yapıya krotonik asit eklenmesi ve miktarının artmasıyla gözenek boyutlarında bir artış meydana geldiği gözlenmiştir [Barkoula, N. M., Alcock, B., Cabrera, N. O., & Peijs, T. (2008)].





Şekil 4. Hidrojellerin SEM görüntüleri (a: akrilamid hidrojel; b: %20 krotonik asit içeren akrilamid/krotonik asit hidrojel; c: %80 krotonik asit içeren akrilamid/krotonik asit hidrojel)

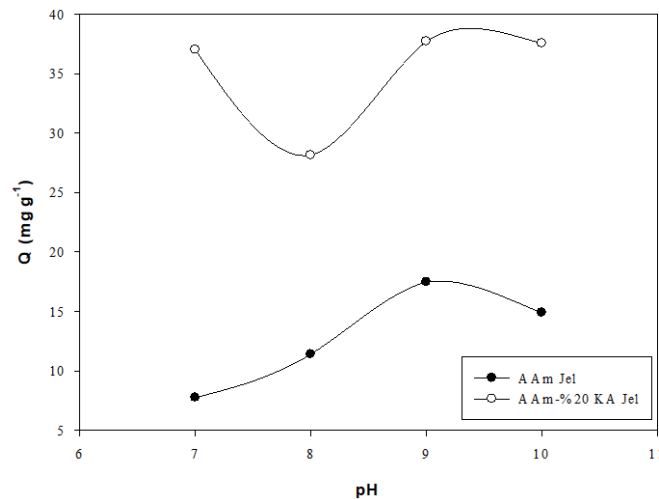
### 3.2. Adsorpsiyon Üzerine Başlangıç pH Değerinin Etkisi

Adsorpsiyon çalışmalarında, çözeltilerdeki boyanın kimyasını ve adsorbanın yüzeyindeki aktif bölgeleri etkilemesi gibi sebeplerden dolayı pH en önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle, adsorpsiyon kapasitesi yalnızca boyanın türüne değil ayrıca pH'ya bağlı olarak da değişmektedir [Aravindhan, R., Rao, J.R., & Nair, B.U. (2007), Çelekli, A. Yavuz atmaca, M., & Bozkurt, H. (2009), Kumar, K.V., & Porkodi, K. (2007)].

Şekil 5'te akrilamid ve akrilamid-krotonik asit (Molar olarak %20 krotonik asit içeren) hidrojelinde metilen mavisinin adsorpsiyonu üzerine pH'nın etkisi gösterilmektedir. 200 ppm boya içerecek şekilde pH değerleri 7 ile 10 aralığında değiştirilerek 25°C'de 100 rpm çalkalama hızında su banyosunda deneyler yürütülmüştür. Akrilamid hidrojelinde pH 9'da maksimum adsorpsiyon 17,42 mg g<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Buna karşılık akrilamid-krotonik asit hidrojel için maksimum q<sub>e</sub> değerine pH 9'da 37,69 mg g<sup>-1</sup> olarak ulaşılmıştır.

Akrilamid içeren hidrojelde adsorplanan boya miktarı krotonik asit içeren jellerle karşılaştırıldığında daha düşük bulunmuştur. Bunun hidrojel yüzeyinde metilen mavisi ile elektrostatik etkileşimi sağlayabilecek negatif yüklü gruplar oluşmamasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

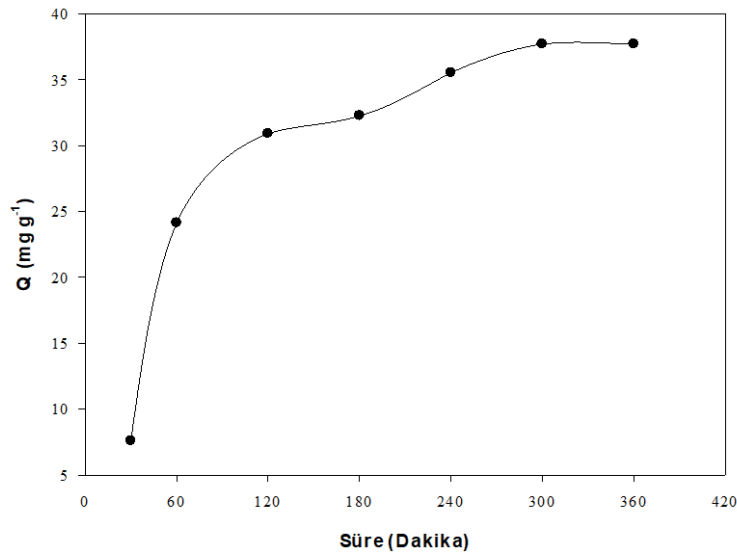
pH değerlerinin artması ile krotonik asit içeren hidrojel yüzeyinde negatif yüklü (karboksilat anyonundan dolayı) bölgeler meydana gelmektedir. Bu negatif yüklü kısımlar metilen mavisinin yüzeyindeki pozitif yüklü gruplar ile elektrostatik etkileşime girerek adsorpsiyonu meydana getirmektedirler. Böylece, daha yüksek pH değerlerinde yüksek q<sub>e</sub> değerleri elde edilmektedir [Jesus, A.M.D. et al. (2011)]. Benzer sonuçlar katyonik boyalar üzerine yapılan çeşitli adsorpsiyon çalışmalarında da gözlenmiştir [Gupta, V.K., Suhas, A.I., & Saini, V.K. (2004), Rumping, H. Et al. (2009), Singh, K.P. et al. (2003)]. Gupta ve arkadaşları [Gupta, V.K., Suhas, A.I., & Saini, V.K. (2004)] kırmızı çamur üzerine metilen mavisinin adsorpsiyonunu çalışmışlardır. Nötr pH'nın üzerinde kırmızı çamur negatif yükü yüklenmiştir ve pozitif yüklü metilen mavisi pH 8 ve 9'da yaklaşık %70 ile hemen hemen aynı adsorpsiyon değerine ulaşmıştır. Ayrıca boyanın maksimum adsorbans dalga boyunun pH'dan etkilenip etkilenmediği UV-GB spektrofotometresi ölçümleri ile kontrol edilmiş ve etkilenmediği görülmüştür.



Şekil 5. Metilen mavisinin adsorpsiyonu üzerine pH'nın etkisi

### 3.3. Adsorpsiyon Üzerine Sürenin Etkisi

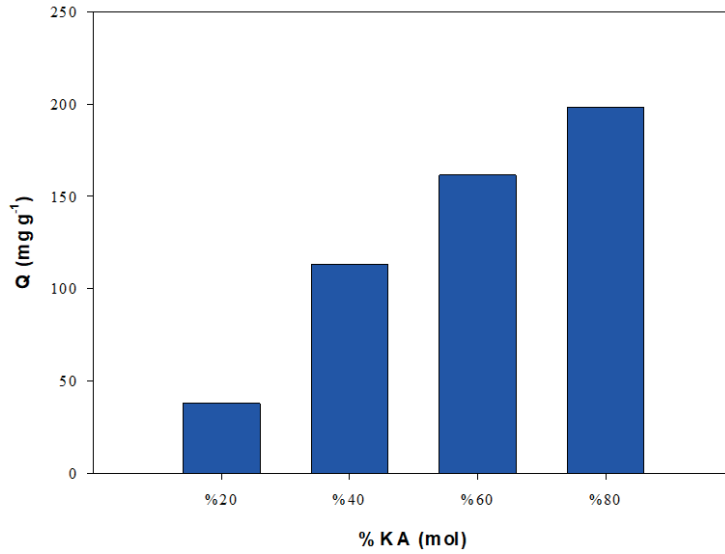
Çözeltinin pH'sı ile birlikte adsorpsiyon kapasitesini etkileyen bir diğer önemli parametre de süredir. Deneyler 200 ppm boya içecek şekilde pH 9 tamponunda 100 rpm çalkalama hızında su banyosunda ve 25 °C'de yürütülmüştür ve sonuçlar Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere 60 dakikalık ilk aşamada adsorpsiyon kapasitesinin çok hızlı bir şekilde arttığı kolayca gözlemlenebilir. Daha sonra adsorpsiyon hızı yavaşlamaya başlamıştır ve yaklaşık 240-300 dakika aralığında hemen hemen denge haline ulaşmıştır. Sonuçlara bakıldığında adsorpsiyonun başlarında adsorban üzerinde metilen mavisinin adsorpsiyonu için gerekli yüzeylerin boş olduğu bu sebeple adsorpsiyon hızının çok yüksek olduğu düşünülmüştür. Daha sonra adsorban yüzeyindeki boşlukların metilen mavisini ile dolması, moleküller arasında itici bir kuvvet oluşmasına ve adsorpsiyonun yavaşlamasına sebep olmaktadır. Benzer sonuçlar çeşitli çalışmalar da rapor edilmiştir [Fu, J. Et al. (2015), Kyzas, G. Z., Deliyanni, E. A., & Lazaridis, N. K. (2014)]. Kyzas ve arkadaşlarının [Kyzas, G. Z., Deliyanni, E. A., & Lazaridis, N. K. (2014)] rapor ettiğine göre; Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile modifiye edilmiş aktif karbon üzerine metilen mavisinin adsorpsiyon çalışmalarında 300 dakikaya kadar adsorpsiyonun çok hızlı gerçekleşmiş, 300 dakikadan sonra yavaşlamaya başlamış ve 1500. dakikada dengeye ulaşmıştır.



Şekil 6. Metilen mavisinin adsorpsiyonu üzerine sürenin etkisi

### 3.4. Adsorpsiyon Üzerine Krotonik Asit Yüzdesinin Etkisi

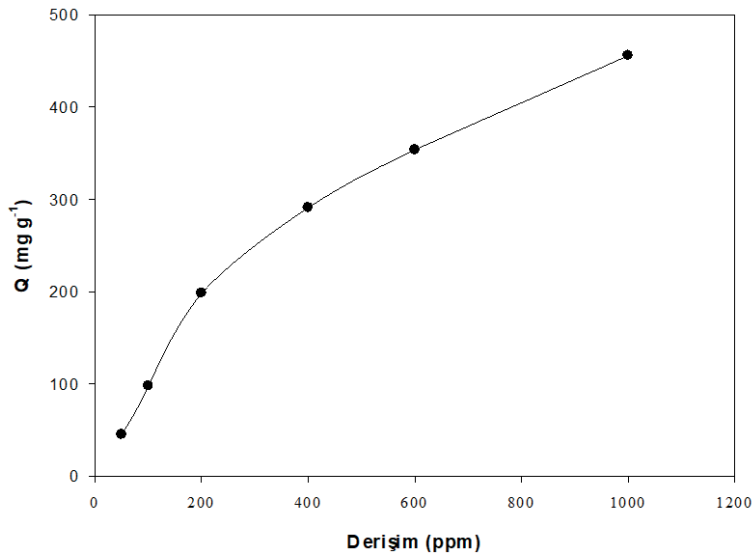
Krotonik asit hidrojelere molar oran olarak %20, 40, 60 ve 80 içecek şekilde eklenmiştir. 200 ppm boya içecek şekilde pH 9 tamponunda 100 rpm çalkalama hızında su banyosunda 24 saat ve 25 °C deneyler yürütülmüştür ve sonuçlar Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere krotonik asit yüzdesinin artması ile adsorpsiyon belirgin bir şekilde artmaktadır. Bu sonuca göre, hidrojellerde bulunan negatif yüklü karboksilat anyonlarının sayısının artması ile boya molekülleri ile olan elektrostatik etkileşim artmaktadır. Bu da adsorpsiyon değerlerini belirgin bir şekilde arttırmakta ve yapılan çalışmadan beklenen bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır. Benzer bulgular katyonik boyalar üzerine yapılan çeşitli çalışmalarda da gösterilmiştir [Karadağ, E., Üzüm, Ö.B., & Saraydın, D. (2002), Yiamsawas, D., Kangwansupamonkon, W., Chailapakul, O., & Kiatkamjornwong, S. (2007)]. Yiamsawas ve arkadaşlarının [Yiamsawas, D., Kangwansupamonkon, W., Chailapakul, O., & Kiatkamjornwong, S. (2007)] poly[akrilamid-ko-(krotonik asit)] üzerine basic blue 41'in adsorpsiyon çalışmalarında krotonik asit yüzdesinin %10'dan %30'a artması ile adsorpsiyon %50'lerden %65'lere kadar arttığı belirlenmiştir.



Şekil 7. Krotonik asit yüzdesinin adsorpsiyon üzerine etkisi

### 3.5. Adsorpsiyon Üzerine Başlangıç Boya Derişiminin Etkisi

En yüksek adsorpsiyon değerlerine mol olarak %80 krotonik asit içeren hidrojelde ulaşılmıştır. Bu yüzden bundan sonraki çalışmalarda bu hidrojel kullanılacaktır. Hidrojellerin boya tutma kapasitelerine boya derişiminin etkisi 50-1000 ppm aralığında metilen mavisi ile pH 9'da 100 rpm çalkalama hızında su banyosunda araştırılmış ve sonuçlar Şekil 8'de gösterilmiştir. Başlangıç boya derişiminin artmasıyla adsorpsiyon belirgin bir şekilde artmaktadır. Boya derişiminin artması ile adsorban hidrojel ile boya molekülleri arasındaki etkileşim artacağından adsorpsiyon belirgin bir şekilde etkilenmektedir. Ayrıca boyanın derişiminin artması, sulu faz ile katı adsorban arasında boyanın kütle transfer direncini yenmesinde itici bir güç oluşturmaktadır. Benzer sonuçlar Yang ve arkadaşlarının poli(akrilikasit-ko-vinilpirolidon)/paligorskit hidrojelini üzerine yaptıkları çalışmada gösterilmiştir. Metilen mavisi derişiminin 200 ppm'den 1300 ppm'e artırılması ile adsorpsiyon 971 mg/g'dan 1815 mg/g değerine kadar ulaşmıştır [Yang, C.-X. et al. (2015)].

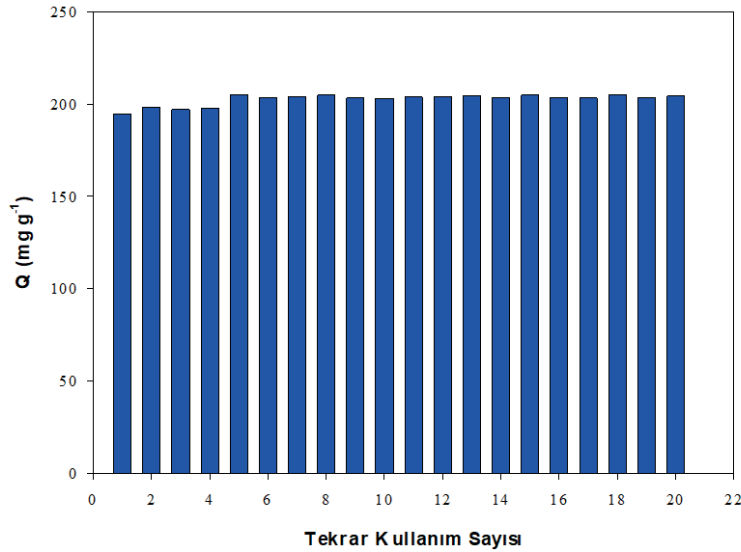


Şekil 8. Başlangıç boya derişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi

### 3.6. Desorpsiyon Çalışmaları

%80 krotonik asit içeren hidrojel için 200 ppm başlangıç boya derişiminde adsorpsiyon deneyleri yürütülmüştür. Adsorpsiyondan sonra alınan hidrojel pH 2 HCl-KCl tamponu içine atılarak 1 saat 100 rpm çalkalama hızında su banyosunda karıştırılmıştır. Desorbe olan hidrojel alınarak tekrar adsorpsiyon ortamına eklenmiştir. Aynı şekilde adsorpsiyon-desorpsiyon

deneyleri 20 kere tekrarlanmıştır ve sonuçlar Şekil 9’da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere 20 kere tekrar kullanım sonucunda hidrojenlerin adsorpsiyon kapasitelerinde herhangi bir azalma gözlemlenmemiştir. Bu da akrilamid-krotonik asit hidrojenlerin katyonik boyaların adsorpsiyon çalışmalarında tekrar tekrar kullanılabilirliğini göstermektedir.



Şekil 9. Tekrarlı kullanım sonrasında hidrojenlerin adsorpsiyon kapasiteleri

### 3.5. Adsorpsiyon İzotermi

Deney sonuçları açıklamak için iki teorik izoterm modeli kullanılmıştır: Langmuir ve Freundlich izotermi. İzoterm sıklıkla adsorpsiyonu tarif etmek için kullanılmaktadır. Langmuir; adsorplanan türler arasında etkileşimin olmadığı, homojen bir yüzeye adsorpsiyonun tek tabakalı bir şekilde meydana geldiği kabul edilen homojenliğe dayanan bir izoterm modelidir. Zaten Langmuir modeli homojen adsorpsiyon için formüle edilmiştir. Freundlich izotermi ise genellikle heterojen adsorpsiyon için kullanılmaktadır. Adsorpsiyon çözeltideki adsorplanan maddenin derişimi ile yakından ilişkilidir. Freundlich izotermi bir kısıtlaması; çözeltideki çözünen maddenin derişimi ile adsorplanan maddenin miktarının orantılı olarak değişmemesidir [Arıca, M.Y., & Bayramoğlu, G. (2007)].

Langmuir eşitliği [Langmuir, I. (1918)];

$$\frac{C_{eq}}{q_{eq}} = \frac{1}{q_m b} + \frac{C_{eq}}{q_m}$$

Burada  $C_{eq}$  boyaların denge derişimi (ppm),  $q_{eq}$  (mg/g) birim adsorban başına adsorplanan boya miktarı,  $q_m$  maksimum tek tabakalı adsorpsiyon kapasitesi (mg/g) ve  $b$  (L/g) Langmuir sabitidir.

Freundlich eşitliği [Freundlich, H. (1906)];

$$q_{eq} = K_F C_{eq}^{1/n}$$

Burada  $K_F$  ve  $n$  sırasıyla adsorpsiyon kapasitesi ve adsorpsiyon yoğunluğu ile ilgili Freundlich sabitleridir.

Langmuir ve Freundlich izoterminden hesaplanan değerler Tablo 2’de verilmiştir. Langmuir izotermi için  $q_m$  değeri metilen mavisi (MB) için deneysel verilerden hesaplanan  $455,55 \text{ mg g}^{-1}$  değerine yakın bulunmuştur. Ayrıca korelasyon sabiti de (0,9808) çok yüksek bulunduğu için adsorpsiyon tek tabakalı ve homojen Langmuir izotermine uymaktadır. Freundlich izotermi ise korelasyon sabiti 0,8880 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar bize adsorpsiyonun tek tabakalı ve homojen olduğunu dolayısıyla Langmuir modeline uygun olduğunu göstermektedir [Fu, J. Et al. (2015), Sathishkumar, P., Arulkumar, M., Palvannan, T. (2012)].

**Tablo 2.** MB boyası için Langmuir ve Freundlich izoterminden hesaplanan değerler

Langmuir İzotermi			Freundlich İzotermi		
q <sub>m</sub>	B	R <sup>2</sup>	K <sub>F</sub>	n	R <sup>2</sup>
529,10	8,14x10 <sup>-3</sup>	0,9808	16,078	1,8405	0,8880

#### 4. TARTIŞMA

Akrilamid/krotonik asit hidrojenleri N,N-metilen bisakrilamid çapraz bağlayıcısı ve amonyum peroksidisülfat başlatıcısı ile basit bir şekilde sentezlenmiştir. Sentezlenen hidrojenler FTIR ve SEM çalışmaları ile karakterize edilmiştir. FTIR sonuçları krotonik asitin başarılı bir şekilde yapıya girdiğini göstermiştir. SEM sonuçları ise elde edilen hidrojenlerin iç içe geçmiş ağ yapısı meydana getirdiklerini kanıtlamıştır. Hidrojenler metilen mavisi boyasının gideriminde kullanılmıştır. En yüksek adsorpsiyon kapasitesi pH 9 ve süre olarak 300 dakika olarak belirlenmiştir. Krotonik asit yüzdesinin ve başlangıç boya derişiminin artırılması ile adsorpsiyon kapasitesinin belirgin bir şekilde arttığı belirlenmiştir. Metilen mavisi adsorbe edilen hidrojenler pH 2 HCl-KCl tamponu içerisinde 1 saat gibi kısa bir sürede desorbe edilebilmiştir. Ayrıca 20 kere tekrar kullanımdan sonra bile adsorpsiyon kapasitesinin hemen hemen hiç değişmediği belirlenmiştir. Sonuçlar bize elde edilen akrilamid/krotonik asit hidrojenlerin endüstriyel atık sularından özellikle metilen mavisi gibi katyonik türde boyaların gideriminde etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

#### 5. KAYNAKLAR

Absalan, G., Asadi, M., Kamran, S., Sheikhan, L., & Goltz, D.M. (2011). Removal of reactive red-120 and 4-(2-pyridylazo) resorcinol from aqueous samples by Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanoparticles using ionic liquid as modifier, *Journal of Hazardous Materials*, 192(2), 476–484.

Aksu, Z. (2005). Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review, *Process Biochemistry*, 40(3-4), 997–1026.

Aktaş Uygun, D., Uygun, M., Akgöl, S., & Denizli, A. (2015). Reversible adsorption of catalase onto Fe<sup>3+</sup> chelated poly(AAm-GMA)-IDA cryogels. *Materials Science and Engineering C*, 50, 379–385.

Aravindhan, R., Rao, J.R., & Nair, B.U. (2007). Removal of basic yellow dye from aqueous solution by sorption on green alga *Caulerpa scalpelliformis*, *Journal of Hazardous Materials*, 142, 68–76.

Arıca, M.Y., & Bayramoğlu, G. (2007). Biosorption of Reactive Red-120 dye from aqueous solution by native and modified fungus biomass preparations of *Lentinussajor-caju*, *Journal of Hazardous Materials*, 149(2), 499–507.

Barkoula, N. M., Alcock, B., Cabrera, N. O., & Peijs, T. (2008). Fatigue properties of highly oriented polypropylene tapes and all-polypropylene composites. *Polymers and Polymer Composites*, 16(2), 101–113.

Çelekli, A. Yavuz atmaca, M., & Bozkurt, H. (2009). Kinetic and equilibrium studies on the adsorption of reactive red 120 from aqueous solution on *Spirogyra majuscula*, *Chemical Engineering Journal*, 152(1), 139–145.

Çelekli, A., İlgün, G., & Bozkurt, H. (2012). Sorption equilibrium, kinetic, thermodynamic, and desorption studies of Reactive Red 120 on *Characontraria*, *Chemical Engineering Journal*, 191, 228-235.

Dizge, N., Aydinler, C., Demirbaş, E., Kobya, M., & Kara, S. (2008). Adsorption of reactive dyes from aqueous solutions by fly ash: Kinetic and equilibrium studies, *Journal of Hazardous Materials*, 150, 737–746.

Dulman, V., & Cucu-Man, S.M. (2009). Sorption of some textile dyes by beech wood sawdust, *Journal of Hazardous Materials*, 162, 1457–1464.

Freundlich, H. (1906). Adsorption in solution, *Phys. Chem. Soc*, 40, 1361–1368.

Fu, J., Chen, Z., Wang, M., Liu, S., Zhang, J., Zhang, J., Han, R., & Xu, Q. (2015). Adsorption of methylene blue by a high-efficiency adsorbent (polydopamine microspheres): Kinetics, isotherm, thermodynamics and mechanism analysis, *Chemical Engineering Journal* 259, 53–61.

- Guo, R., & Wilson, L.D. (2012). Synthetically engineered chitosan-based materials and their sorption properties with methylene blue in aqueous solution, *Journal of Colloid and Interface Science*, 388, 225–234
- Gupta, V.K., Suhas, A.I., & Saini, V.K. (2004). Removal of rhodamine B, fastgreen, and methylene blue from waste water using red mud, an aluminum industry waste, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 43(7), 1740–1747.
- Hsu, T.-C. (2008). Adsorption of an acid dye onto coal fly ash, *Fuel*, 87, 3040–3045.
- Jesus, A.M.D., Romão, L.P.C., Araújo, B.R., Costa, A.S., & Marques, J.J. (2011). Use of humin as an alternative material for adsorption/desorption of reactive dyes. *Desalination*, 274(1), 13–21.
- Kaith, B. S., Jindal, R., & Sharma, R. (2015). Synthesis of a Gum rosin alcohol-poly(acrylamide) based adsorbent and its application in removal of malachite green dye from waste water. *RSC Advances*, 5(54), 43092–43104.
- Karadağ, E., Üzüm, Ö.B., & Saraydın, D.(2002). Swelling equilibria and dye adsorption studies of chemically cross linked super absorbent acrylamide/maleic acid hydrogels, *European Polymer Journal*, 38(11), 2133–2141.
- Khaled, A., El Nemr, A., El-Sikaily, A.E.A., & Abdelwahab, O. (2009). Treatment of artificial textile dye effluent containing Direct Yellow 12 by orange peel carbon. *Desalination*, 238(1), 210–232.
- Kumar, K.V., & Porkodi, K. (2007). Mass transfer, kinetics and equilibrium studies for the biosorption of methylene blue using *Paspalumnotatum*, *Journal of Hazardous Materials*, 146, 214–226.
- Kyzas, G. Z., Deliyanni, E. A., & Lazaridis, N. K. (2014). Magnetic modification of microporous carbon for dye adsorption. *Journal of Colloid and Interface Science*, 430, 166–173.
- Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surface of glass, mica and platinum, *Journal of the American Chemical Society*, 40, 1361–1368.
- O'Neill, C., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L., Lourenco, N., Pinheiro, H.M., & Delee, W. (1999). Colour in textile effluents – sources, measurement, discharge consents and simulation: a review, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 74(11), 1009–1018.
- Radha, K.V., Regupathi, A., Arunagiri, T., & Murugesan, T. (2005). Decolorization studies of synthetic dyes using *Phanerochaete chrysosporium* and their kinetics. *Process Biochemistry*, 40(10), 3337–3345.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P.(2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment Technologies with a proposed alternative, *Bioresource Technology*, 77(3), 247–255.
- Runping, H., Zhang, J., Han, P., Wang, Y., Zhao, Z., & Tang, M. (2009). Study of equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters about methylene blue adsorption onto natural zeolite, *Chemical Engineering Journal*, 145, 496–504.
- Salleh, M.A.M., Mahmoud, D.K., Karim, W.A.W.A., & Idris A. (2011). Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review, *Desalination*, 280(1), 1–13.
- Sathishkumar, P., Arulkumar, M., & Palvannan, T. (2012). Utilization of agro-industrial waste *Jatropha curcas* pods as an activated carbon for the adsorption of reactive dye Remazol Brilliant Blue R (RBBR), *Journal of Cleaner Production*, 22, 67–75.
- Sharma, K., Kaith, B. S., Kumar, V., Kumar, V., Som, S., Kalia, S., & Swart, H. C. (2013). Synthesis and properties of poly(acrylamide-aniline)-grafted gum ghatti based nanospikes, *RSC Advances*, 3(48), 25830–25839.
- Singh, K.P., Mohan, D., Sinha, S., Tondon, G.S., & Gosh, D. (2003). Color removal from waste water using low-cost activated carbon derived from agricultural waste materia, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42, 1965–1976.
- Slokar, Y.M., & Le Marechal, A.M. (1997). Methods of decoloration of textile wastewaters, *Dyes and Pigments*, 37, 335–356.
- Srinivasan, A., & Viraraghavan, T.(2010). Decolorization of dye waste waters by biosorbents: a review, *J. Environ. Manage*, 91(10), 1915–1929.
- Vijayaraghavan, K., & Yun, Y.S. (2008). Biosorption of CI Reactive Black 5 from aqueous solution using acid-treated biomass of Brown sea weed *Laminaria* sp, *Dyes and Pigments*, 76(3), 726–732.
- Wang, W., Ding, Z., Cai, M., Jian, H., Zeng, Z., Li, F., & Liu, J.P. (2015). Synthesis and high-efficiency methylene blue adsorption of magnetic PAA/MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanocomposites, *Applied Surface Science*, 346, 348–353



Won, S.W., Choi, S.B., Chung, B.W., Park, D., Park, J.M., & Yun, Y.-S. (2004). Biosorptive Decolorization of Reactive Orange 16 Using the Waste Biomass of *Corynebacterium glutamicum*, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 43(24), 7865–7869.

Yang, C.-X., Lei, L., Zhou, P.-X., Zhang, Z., & Lei, Z.-Q. (2015). Preparation and characterization of poly(AA co PVP)/PGS composite and its application for methylene blue adsorption, *Journal of Colloid and Interface Science*, 443, 97–104.

Yiamsawas, D., Kangwansupamonkon, W., Chailapakul, O., & Kiatkamjornwong, S. (2007). Synthesis and swelling properties of poly[acrylamide-co-(crotonicacid)] super absorbents, *Reactive & Functional Polymers*, 67(10), 865–882.

Zollinger, H. 1987. Synthesis, Properties of Organic Dyes and Pigments. In: *Color Chemistry*. New York, USA: VCH Publishers, pp. 92-100.



## Ion Concentrations And Sources Of Sequential Sampling Of Wet Deposition In Istanbul, Turkey

Ilker ORUC<sup>1</sup>, Bulent Oktay AKKOYUNLU<sup>2,\*</sup>, Murat DOGRUEL<sup>3</sup>, Mete TAYANC<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Vocational College of Technical Sciences, Kirklareli University, KIRKLARELI, 39100

<sup>2</sup>Department of Physics, Marmara University, Goztepe, ISTANBUL, 34722

<sup>3</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Marmara University, Goztepe, ISTANBUL, 34722

<sup>4</sup>Department of Environmental Engineering, Marmara University, Goztepe, 34722, ISTANBUL

Başvuru/Received: 29/03/2017

Kabul/Accepted: 30/05/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

### Abstract

This study presents the relationships between ion concentrations and sources of ions in the precipitation events which happened on a) September the 08th, 2007 b) November the 10th, 2007 and c) December the 05th, 2007. Fortyfour sequential rain samples were collected in three rain events that were sampled in Istanbul-Turkey making use of a sequential rain sampler. Concentration of the main cations (K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, and Mg<sup>2+</sup>) and main anions (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) were analyzed. The ratio of the mean Ca<sup>2+</sup> (0.85) non-sea salt concentration to the mean total concentration led to the conclusion that most of the Ca<sup>2+</sup> came from soil. This ratio for SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ranged between 0.49 and 0.98, indicates a possible conclusion that the domestic heating and industrial activities were the main source of this ion.

### Key Words

“Aerosol sources, sequential sampling, wet deposition.”

## 1. INTRODUCTION

Atmospheric particles have many sources which are natural and anthropogenic. Natural sources include fine soil blown into the air, coarse particles from soil by wind-blown, sea salts from breaking waves, reactions between natural gaseous emissions, biological material release, and volcanic eruptions. Dust from roads, wind erosion of tilled land and cropland, biomass burning, fossil-fuel combustion, construction, transportation sources and industrial emissions are main anthropogenic sources. Wide processes, which are used to find the sources ions in the precipitation, are non-sea salt (NSS) and enrichment factor (EF) estimations. There are many studies on investigation for researching the sources of the atmospheric constituents. Xu and Gao (2015) proved that sea salt and nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> were the main components of marine aerosols over sampling region, of which high sea salt concentrations were associated with high wind speeds, while high nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> could mainly come from anthropogenic emissions, especially over Asian marginal seas. Huang et al. (2009) claimed that in their study, the influence on precipitation chemistry of sea salts is strong since Guangzhou is located adjacent to the South China Sea. The NSS calculations of ions in the precipitations, in their study, are summarized as follows: The monthly VWM amount of the SSF of Cl<sup>-</sup> is presented to be 37.8-100%; equivalent values are 26.6-68.9% for Mg<sup>2+</sup>, < 10% for K<sup>+</sup>, and just < 2% for F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, and Ca<sup>2+</sup>. According to these data, Cl<sup>-</sup> in the rain water primarily comes from the sea. Marine source can also be accepted to be the source of the half of the Mg<sup>2+</sup> which demonstrates that for the explanation of Mg<sup>2+</sup> in the precipitation, an additional source is needed. The SSFs of Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, F<sup>-</sup>, and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, seems to be very low (<10%) which means that there exists another origin besides a marine source. Previous monitoring studies carried out to find the sources of constituents of atmospheric pollutants have profited by NSS estimations (Okay et al., 2002; Sakihama et al., 2008; Budhavant et al., 2010).

The present study is focused on the investigation of sources of the chemical components in the sequential rain events sampled in Istanbul, Turkey using the method of NSS and EF estimations. 44 sequential precipitation samples were collected in the aggregate for the three rain events. It was found Mg<sup>2+</sup> came partly from NSS sources (37%) and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> almost completely from industrial activities (87%). Ca<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup> are found to have a high mean EF value. This finding leads to the result that the main source of these ions to be the soil.

## 2. MATERIAL AND METHODS

Goztepe that is the sampling area is on the Asian side of Istanbul (Figure 1). Istanbul that is populated by nearly 15 million people stands as the largest urban settlement in Turkey.

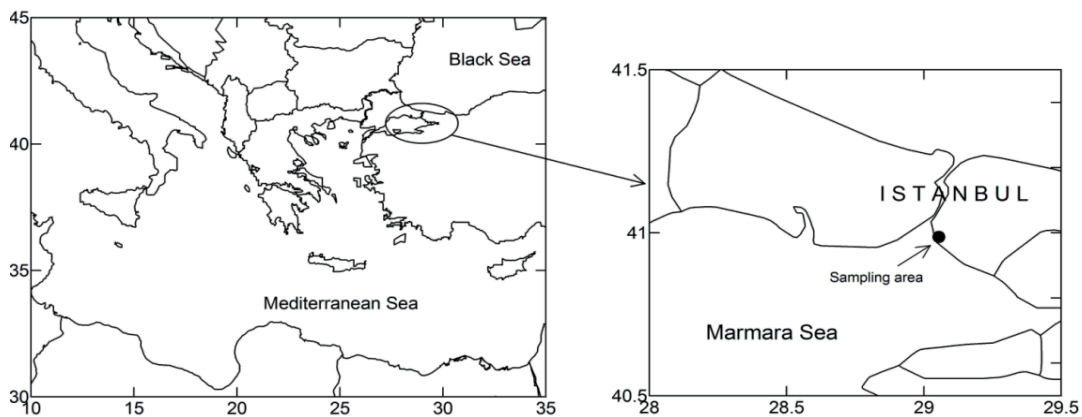


Figure 1. Sampling Site: Goztepe

The EF is a ratio that is usually used to distinguish aerosol sources (Vermette et al., 1988; Singer et al., 1993). This calculation relies on the elemental ratio which is found between ions that are collected in the precipitation or in the atmosphere. When the elemental ratio is compared with a ratio, which is similar, for a reference material, it gives significant information about the elements's source. In this study, the following equation is used in order to calculated EFs for sea water:

$$EF = \frac{(x/c)_{precipitation}}{(x/c)_{reference\ material}} \tag{1}$$

NSS ion concentration formula given by Vermette et al. (1988) was used in order to found the contribution of non natural sources of ions by scavenging processes.

$$NSSx_p = Totalx_p - c_p(x_r / c_r) \tag{2}$$

In this equation, x is the concentration of the ion of interest while c is the concentration of the reference ion. The subscript p and r stand for the ions in the precipitation and reference material, respectively.

To calculate the sea salt ratio, Brewer’s (1975) sea surface water concentrations were used as references. We chose Na<sup>+</sup> as the reference element for sea to calculate the EFs of ions in the rain water.

An automatic sequential rain sampler that was designed and produced in the project carried out with the support of The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) was used to collect samples (Akkoyunlu et al., 2008; Akkoyunlu et al., 2011; Akkoyunlu et al., 2013). Sequential sampler device has a polyethylene funnel of 0.28 m<sup>2</sup> with circular area and 12 polyethylene cups of 200 cm<sup>3</sup> volume mounted on a sampler body. Precipitation sampling caps was taken from the sequential rain sampler body that they were attached to and brought to the laboratory prior to filtering of the samples and storing in pre-cleaned polyethylene bottles in the refrigerator at 4 °C before the process of chemical analysis.

K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, and Mg<sup>2+</sup> concentrations were measured using an Hitachi-180-80 atomic absorption spectrophotometer. Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations were analyzed by a high performance Dionex model 4001 ion chromatography.

### 3. SOURCES OF THE IONS

Equation 1 has been used to calculate the mean EFs of the ions and equation 2 was for obtaining the mean NSS concentrations for all rain events, and these results were depicted in Figure 2. It’s been predicted that the rain event with the largest mean EF values in the rain water was on the December the 05<sup>th</sup>, 2007 due to K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, and Mg<sup>2+</sup> were more enriched by soil compared to the other days of the rain event. Higher anthropogenic contribution for SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> during this day of the rain event which leads to higher mean EF values could be probably mentioned to detect the reason. The ratio for SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ranged between 0.49 and 0.98. The result that the main source of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> was the domestic heating and industrial activities might be concluded from these values.

The precipitation events occurred in Istanbul generally have high SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> concentrations mainly originated from the industrial processes and domestic heating. The authors found that SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> was enriched between 1.1 and 150 with respect to the sea (Akkoyunlu and Tayanç, 2003).

Panyakapo and Onchang (2008) indicated that NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> were the significant alkaline species for neutralization process. The EFs analysis indicated that Na<sup>+</sup> and greater part of Cl<sup>-</sup> were from the sea in this study, while Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> originate from local sources. It was revealed that the crusting as well as anthropogenic activities play an important role in contributing ionic species in wet precipitation by the application of factor analysis. In our study, mean EF of Mg<sup>2+</sup> was calculated as 2.63, which corresponds to 37% NSS fraction. It seems that Mg<sup>2+</sup> was diluted by sea and concentrated by soil.

The values of mean Cl<sup>-</sup> and NSS concentration with large difference indicate that NSS has very small amount of partition in the ion. Zhang et al. (2007) found similar values to those of this study. The authors calculated that anthropogenic source fraction of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> was 98.8% and crust fraction of Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, and Mg<sup>2+</sup> were 99.4%, 97.1%, 58.7%, respectively in the 82 precipitation samples collected in southeastern China.

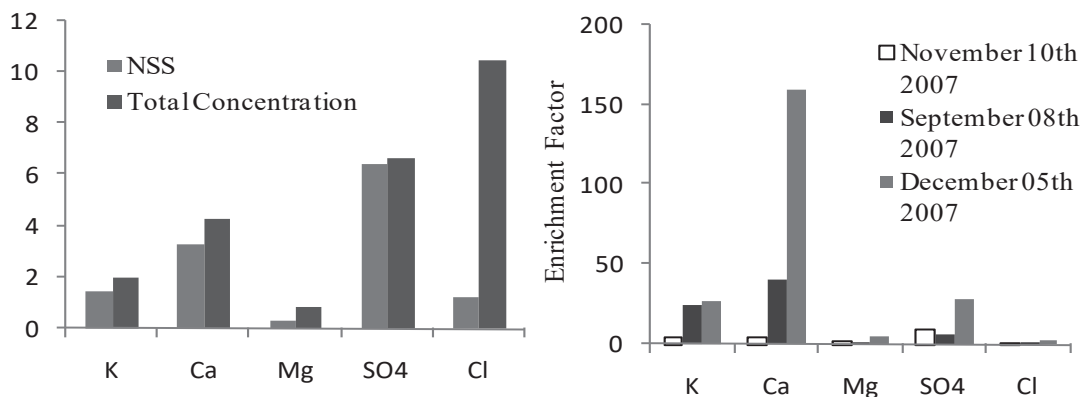


Figure 2. Mean NSS concentrations, total concentrations of ions (mg L<sup>-1</sup>) and EF values.

Pearson correlation coefficients of the concentrations of ions for all three cases of rain days were given in Table 1. Maximum correlation coefficient was found 0.74 for the duration of sampling periods between  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$  that have industrial and domestic sources and in terms of concentration  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$  generally show similar variability.  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  is thought to be originated from sea as the same source. Correlation between them was calculated to be a second pick value as 0.71.  $\text{SO}_4^{2-}$  has high or moderate correlation with other ions such as  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  which exist in the main soil wind-blown dust particles.

Nevertheless, no correlation between those of other ions and NSS concentration of  $\text{SO}_4^{2-}$  was found. It refers to the conclusion that  $\text{SO}_4^{2-}$  which was also thought as anthropogenic sources has different variability than the variability of other ions for duration of rain events.

Topçu et al. (2002) found similar results to the findings of this study. As an example, the authors calculated the correlation coefficient between  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$  as 0.92 and the correlation coefficients of  $\text{Na}^+$  with  $\text{Cl}^-$  and  $\text{Mg}^{2+}$  as 0.77 and 0.54, respectively in the summer season, in Ankara, Turkey. Cheng et al. (2011) found that  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$  anions were highly correlated. It was found out that between these ions, the correlation coefficient was 0.7151.

**Table 1.** Pearson correlation coefficients between the overall concentrations of ions.

	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$
$\text{Na}^+$	1	0.70	0.37	0.72	0.43	0.56	0.71
$\text{K}^+$		1	0.24	0.24	0.16	0.41	0.66
$\text{Ca}^{2+}$			1	0.36	- 0.14	0.04	0.72
$\text{Mg}^{2+}$				1	0.38	0.50	0.60
$\text{NO}_3^-$					1	0.74	0.23
$\text{SO}_4^{2-}$						1	0.23
$\text{Cl}^-$							1

The total concentrations which were described previously in the formula 2 and the reduction as a mean percentage of the NSS concentrations were indicated in Table 2. The decrease of concentrations during the initial stages as a percentage can be ordered in a descending order as  $\text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$  and descending order of NSS concentrations as  $\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$  in Table 2.

Fine particles of anthropogenic origin which contains  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NO}_3^-$  are formed by gas-to-particle processes and their scavenging efficiency is much smaller than those of coarse particles. Due to the fact that rain drops are more efficient at scavenging the large particles and coarse mode of aerosols than fine particles. In comparison with the  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ions which exist as fine particles, more significant reduction of  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ions was found. It was found  $\text{Mg}^{2+}$  came partly from NSS sources (37%) and  $\text{SO}_4^{2-}$  almost completely from industrial activities (87%). There was no reduction of NSS concentrations of  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  though other ions has different behaviors. This could be attributed to the possibility that the  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  originated from NSS have undergone to similar scavenging effects during these precipitation events. Mean reduction of total and NSS concentration of all ions were calculated as 54.7% and 43.6%, respectively.

**Table 2.** Reduction as a percentage of the NSS and total concentrations.

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
<b>Total concentration</b>	60.7	82.1	46.4	53.5	34.8	30.5	74.6
<b>NSS concentration</b>	-	63.6	41.0	55.2	-	35.5	22.8

#### 4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

Samples of sequential rains were collected in three rain events for the purpose of investigation of the ion concentrations and the sources of ions. During the beginning stages of each rain event, concentrations of nearly all of the ions decreased. The ratio of mean concentration for all ions sampled on the initial stages to that of the final stages of the rain events were calculated. The results of the rain events were found on September the 08th, 2007 as 1.30, on November the 10th, 2007 as 2.29, and on December the 05th, 2007 as 2. The decrease of concentrations during the initial stages was sorted in a descending order as K<sup>+</sup>> Cl<sup>-</sup>>Na<sup>+</sup>> Mg<sup>2+</sup>> Ca<sup>2+</sup>> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>> SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. This indicated that K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> generally in the coarse particle fraction were more efficiently scavenged than fine particles of anthropogenic origin which formed by gas-to-particle processes and contains SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Mean EFs and mean NSS concentrations of the ions were calculated for all rain events for the purpose of finding the sources of ions. It was found that the case of high EF for SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and high correlation between NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> indicates that large amounts of these ions originated in the combustion processes of industrial activities and domestic heating. Ca<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup> are found to have a high mean EF value. This finding leads to the result that the main source of these ions to be the soil. EF of Mg<sup>2+</sup> was calculated as 2.63. 63% of total amount of Mg<sup>2+</sup> originated from sea. Sea might be the mutual source for the Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, and Mg<sup>2+</sup> due to the high correlation coefficients among them.

#### 5. ACKNOWLEDGEMENT

Marmara University Scientific Research Project Commission (BAPKO) and TUBITAK financially supported this work with project no FEN-BGS-120707-0153 and 109R022, respectively.

#### 6. REFERENCES

- Akkoyunlu, B.O., & Tayanç, M. (2003). Analyses of wet and bulk deposition in four different regions of Istanbul, Turkey. *Atmospheric Environment*, 37(25): 3571-3579. Doi:10.1016/S1352-2310(03)00349-2
- Akkoyunlu, B.O., Tayanc, M., Dogruel, M., & Oruc, I. (2008). Design and manufacture of an automatic sequential rain sampler: Testing with sub-events. *SGEM 2008: 8th International Scientific Conference on Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection*, June 16-20, Sofia- Bulgaria, Volume 1, 637-643. ISBN: 954-918181-2
- Akkoyunlu, B.O., Oruc, I., & Tayanc, M. (2011). The Chemistry of Wet Deposition Flux in Istanbul, Turkey. *11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, (SGEM 2011)*, 19-25 June, Albena-Bulgaria, Volume II, 1255-1262. Doi: 10.5593/SGEM2011/S17.119
- Akkoyunlu, B.O., Dogruel, M., Tayanc, M., & Oruc, I. (2013). Design and construction of a computer controlled automatic sequential rain sampler. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 27(3): 3890-3895. Doi: 10.5504/BBEQ.2013.0016
- Brewer, P.G. (1975). Minor elements in seawater. Pp. 415-491. In: Riley J.P., & Skirrow G. (eds). *Chemical Oceanography*, Academic Press, London: 2nd Edn. Volume 1. ISBN: 0-12-588601-2
- Budhavant, K.B., Rao, P. S. P., Safai, P. D., Gawhane, R. D., & Raju, M. P. (2010). Chemistry of rainwater and aerosols over Bay of Bengal during CTCZ program. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 65(2): 171-183. Doi: 10.1007/s10874-011-9187-0
- Cheng, Y., Liu, Y., Huo, M., Sun, Q., Wang, H., Chen, Z., & Bai, Y. (2011). Chemical characteristics of precipitation at Nanping Mangdang Mountain in eastern China during spring. *Journal of Environmental Sciences*, 23(8): 1350-1358. Doi: 10.1016/S1001-0742(10)60560-8



- Huang, D.Y., Xu, Y.G., Peng, P., Zhang, H.H., & Lan, J.B. (2009). Chemical composition and seasonal variation of acid deposition in Guangzhou, South China: Comparison with precipitation in other major Chinese cities. *Environmental Pollution*, 157(1): 35-41. Doi: 10.1016/j.envpol.2008.08.001
- Okay, C., Akkoyunlu, B.O., & Tayanç, M. (2002). Composition of wet deposition in Kaynarca, Turkey. *Environmental Pollution*, 118(3): 401-410. Doi: 10.1016/S0269-7491(01)00292-5
- Panyakapo, M., & Onchang, R. (2008). A four-year investigation on wet deposition in western Thailand. *Journal of Environmental Sciences*, 20(4): 441-448. Doi: 10.1016/S1001-0742(08)62077-X
- Sakihama, H., Ishiki, M., & Tokuyama, A. (2008). Chemical characteristics of precipitation in Okinawa Island, Japan. *Atmospheric Environment*, 42(10): 2320-2335. Doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.12.026
- Singer, A., Shamay, Y., Fried, M., & Ganor, E. (1993). Acid rain on Mt. Carmel, Israel. *Atmospheric Environment*, 27(15): 2287-2293. Doi: 10.1016/0960-1686(93)90398-I
- Topçu, S., Incecik, S., & Atımtay, A.T. (2002). Chemical composition of rainwater at EMEP station in Ankara, Turkey. *Atmospheric Research*, 65(1): 77-92. Doi: 10.1016/S0169-8095(02)00072-8
- Vermette, S.J., Drake, J.J., & Landsberger, S. (1988). Intra-urban precipitation quality: Hamilton, Canada. *Water, Air, and Soil Pollution*, 38(1): 37-53. Doi: 10.1007/BF00279584
- Xu, G., & Gao Y. (2015). Characterization of marine aerosols and precipitation through shipboard observations on the transect between 31°N-32°S in the West Pacific. *Atmospheric Pollution Research*, 6(1): 154-161. Doi: 10.5094/APR.2015.018
- Zhang, M., Wang, S., Wu, F., Yuan, X., & Zhang, Y. (2007). Chemical compositions of wet precipitation and anthropogenic influences at a developing urban site in southeastern China. *Atmospheric Research*, 84(4): 311-322. Doi: 10.1016/j.atmosres.2006.09.003



## Kantil Regresyon

### Quantile Regression

Arzu ALTIN YAVUZ<sup>1</sup>, Ebru GÜNDOĞAN AŞIK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, 26480 ESKİŞEHİR

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, 61080 TRABZON

Başvuru/Received: 13/03/2017

Kabul/Accepted: 18/05/2017

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2017

#### Öz

Regresyon analizi uygulama alanı en geniş olan istatistiksel analiz yöntemlerinden biridir. Birçok alanda tekniğinde olduğu gibi mühendislik alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Regresyon analizinde kullanılan En Küçük Kareler (EKK) tekniğinin çıkarsama amaçlı kullanılabilmesi bazı varsayımların sağlanmasını zorunlu kılar. EKK tekniğinde hata terimleri dağılımının normal dağılıma sahip olmaması ve modelin aykırı değerler içermesi durumunda EKK tahmin edicileri etkinlik özelliklerini kaybetmektedir. Bu durumda alternatif regresyon tekniklerine başvurulmaktadır. Alternatif regresyon yöntemlerinden biri olan Kantil regresyon, klasik regresyon yöntemlerinin bazı sınırlamalarının üstesinden gelmektedir. Bu çalışmada Kantil regresyon yöntemi tanıtılmış ve bir mühendislik uygulaması üzerinde EKK tahmin edicileri ile karşılaştırılmıştır. Beton kırma deneyi için elde edilen sonuçlara göre, EKK yöntemi ile elde edilen modelin çıkarsama amaçlı kullanılamayacağı tespit edilmiştir. Bu durumda  $\tau = 0.75$ 'inci ve  $\tau = 0.25$ 'inci kantil değerine göre kurulan regresyon denklemi çıkarsama amaçlı kullanılabilir.

#### Anahtar Kelimeler

“Aykırı değer, Regresyon analizi, En Küçük Kareler, Kantil regresyon”

#### Abstract

Regression analysis is one of the most widely used statistical analysis methods. It is widely used in the engineering field as it is in many areas. The fact that the Least Squares (LS) technique used in regression analysis can be used for inference makes it necessary to provide some assumptions. In the LS, if the distribution of error terms does not have normal distribution and if the model contains outliers, the least squares estimators lose their efficiency properties. In this case, alternative regression techniques are applied. Quantile regression, one of the alternative regression methods, comes from overcoming some of the limitations of classical regression methods. In this study, the method of quantile regression is introduced and on an engineering application is compared with the estimators of the LS. According to the results obtained for the concrete breaking test, it has been determined that the model obtained by the method of LS can not be used for inference. In this case, it can be used for inference the regression equation established for  $\tau = 0.75$ th and  $\tau = 0.25$ th quantile value.

#### Key Words

“Outlier, Regression analysis, Least Squares, Quantile regression”

## 1. GİRİŞ

Mühendislik alanında yapılan birçok bilimsel çalışmada yoğun bir şekilde istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. Yapılan bilimsel çalışmalardan elde edilen sonuçların geçerliliği ve güvenilirliği, doğru yöntemlerin kullanılması ile yakından ilişkilidir. Regresyon analizi mühendislik çalışmalarında kullanılan en önemli istatistiksel yöntemlerden biridir. Regresyon analizi, bağımlı ve bağımsız değişken(ler) arasındaki fonksiyonel ilişkiyi inceler ve bu ilişkiyi ifade eden matematiksel modelin parametrelerini tahmin etmeyi amaçlar. Regresyon analizinde yaygın olarak kullanılan En Küçük Kareler (EKK) tahmin edicilerinin etkin olması ve elde edilen modelin çıkarsama amaçlı kullanılabilmesi bazı varsayımların sağlanmasına bağlıdır. Bu varsayımlar hataların bağımsız olması, sıfır ortalamalı ve eşit varyanslı ( $Var(\epsilon_i)=\sigma^2$ ) Normal dağılıma sahip olması, bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bir ilişkinin olmaması olarak sıralanabilir (Montgomery vd,2013).

Regresyon analizinde EKK yönteminin yaygın olarak kullanılmasının başlıca nedeni diğer regresyon yöntemlerine göre daha kolay hesaplanmasıdır. EKK yönteminin amacı hataların kareler toplamını minimize etmektir. Ayrıca hatalar normal dağıldığında sapmasız tahmin ediciler arasında minimum varyanslı (UMVUE) olan tahmin edici EKK tahmincisidir. Özellikle hataların normal dağılıma uygun olmadığı ve aykırı değerler barındırdığı durumlarda EKK tahmin edicileri etkinlik özelliklerini kaybetmektedir. EKK regresyonunun bu dezavantajı tahmin edilen katsayıların gerçeği yansıtmamasına sebep olmaktadır. Bu durumlarda alternatif regresyon tekniklerine başvurulması gerekmektedir.

Alternatif regresyon tekniklerinden biri Kantil regresyondur. Koşullu kantil fonksiyonlarının tahmini için uygun bir yöntem olarak Koenker ve Bassett (1978) tarafından geliştirilmiştir. Kantil regresyon, bağımlı değişkenin dağılımındaki herhangi bir kantil ile bağımsız değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkinin tahmini için geliştirilmiştir (Tareghian & Rasmussen, 2013). Kantil regresyon, özellikle koşullu kantillerin değişkenlik gösterdiği durumlarda kullanışlıdır. Kantillere bağlı olarak regresyon katsayıları belirlenir (Chen & Wei, 2005). Kantil regresyon ilk olarak regresyondaki klasik varsayımlardan hata terimlerinin normal dağılımı varsayımını ihmal eden sağlam bir regresyon yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. (Chen & Wei, 2005). Kantil regresyon modeli, EKK yönteminden daha fazla esneklik ve bağımlı değişkenin dağılımına ait kovaryans etkilerini incelemeye olanak sağlamaktadır (Çağlayan & Arıkan, 2011). Kantil regresyon modeli, geleneksel ortalama regresyondan daha eksiksiz bir model sunmaktadır (Yu vd, 2003). Çalışmalar örneğin, ücretler (Buchinsky, 1994; Machado & Mata, 2005; Martins & Pereira, 2004), yaşam analizi (Crowley & Hu, 1977; Koenker & Geling, 2001), finansal analiz (Bassett & Chen, 2001), ekonomik araştırmalar (Hendricks & Koenker, 1992; Wang vd, 2013), çevre çalışması (Pandey & Nguyen, 1999), internet ve iletişim teknolojisi (BİT) benimsenmesi (Yu, 2011), sağlık harcamaları (Yu vd, 2011), küçük işletme performansları (Seo vd, 2014) ve bunun gibi çeşitli sorunları yorumlamak için Kantil regresyon modeli uygulanır.

Kantil regresyon, klasik regresyon modellerinin bazı sınırlamalarının üstesinden gelmektedir ve diğer regresyon modellerinin gözden kaçırmış olabileceği değişkenler arasındaki ilişkinin daha kapsamlı bir resmini sağlamaktadır. Kantil regresyon modelleri koşullu ortalama fonksiyonları ile koşullu kantil fonksiyonları için tahmin yapılmasında kullanılır. Deneysel çalışmalarda görülen problemlerden biri aykırı değer problemidir. Bu problem söz konusu olduğunda çalışmalarda ya bu değerler göz ardı edilmekte ya da bu değerler çalışmadan atılmaktadır. Özellikle deneysel çalışmalarda bağımlı değişkenin sadece ortalamasının değil, diğer kantil değerlerinin tahmininin de büyük bir öneme sahip olduğu düşünülürse, büyük maddi imkanlarla yürütülen mühendislik çalışmalarının değerlendirilmesinde Kantil regresyonun kullanılması oldukça faydalı olacaktır.

Kantil regresyon, ilk olarak Koenker ve Schorfheide (1994) tarafından iklim çalışmalarından birinde kullanılmıştır. Ayrıca, Kantil regresyon ekolojik, biyolojik, küresel sıcaklık değişiklikleri, ücret eşitsizliklerinin ve gelir düzeyinin belirlenmesi, akademik başarıda eğitim eşitsizliklerinin etkilerinin belirlenmesi, sağlık çalışmalarında (uzunluk, kilo, hastalıkların artışı, uyuşturucu kullanım ile ilgili) tedavi yöntemlerinin belirlenmesi gibi konularda kullanılmıştır. Mühendislik alanındaki çalışmalarda yeteri kadar uygulama söz konusu değildir.

Bu çalışmanın amacı EKK tahmin edicisinin dayandığı model varsayımlarının sağlanamaması durumunda kullanılacak Kantil regresyon yöntemini tanıtmak ve bir mühendislik uygulaması üzerinde EKK tahmin edicileri ile karşılaştırmaktır. Çalışmanın ikinci bölümünde EKK yönteminin varsayımlarının sağlanmasını etkileyen hataların analizi konusuna değinilecek ve çeşitli hata türleri ile bunları tespit yöntemleri aktarılacaktır. Üçüncü bölümde, Kantil regresyon, EKK yöntemi ile karşılaştırmalı olarak tanıtılacaktır. Dördüncü bölümde, bir beton kırma deneyinde açığa çıkan enerji miktarı ile darbe değeri arasında ilişki EKK ve Kantil regresyon yardımıyla incelenmiştir. Son bölümde elde edilen sonuçlar, farklı sağlam regresyon yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

## 2. HATALARIN ANALİZİ VE AYKIRI DEĞERLERİ BELİRLEME YÖNTEMLERİ

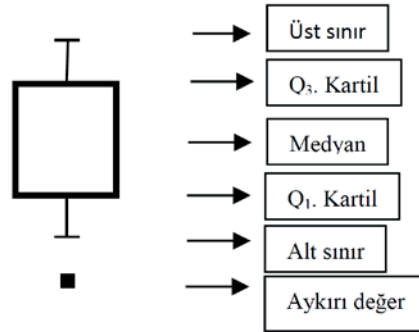
Değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesinde yaygın olarak kullanılan EKK yöntemi verilerin dağılımının normal olmasına ve aykırı değerlerin bulunmamasına bağlı olarak etkin sonuçlar vermektedir. Ancak günümüzde elde edilen birçok veri seti normal dağılım göstermemekte ve içlerinde diğer gözlemlerden önemli derecede farklılık gösteren aykırı değerler bulundurmaktadır. Aykırı değerler diğer gözlem değerlerinden uzakta bulunan ve onlarla tutarlılık göstermeyen değerlerdir. Aykırı değerler konularına göre analiz sonuçlarını etkileyebilecekleri gibi, analiz sonuçları üzerinde herhangi bir etki de

yapmayabilirler. Bu durumda aykırı değerlerin araştırılması gerekir. Veri setinde aykırı değer olması durumunda varsayımsal sapmalardan çok fazla etkilenmeyen sağlam istatistiksel yöntemlerin kullanılması gerekmektedir.

Aykırı değerler görsel olarak histogram ve kutu grafiği yardımıyla belirlenebilir. Sınıflandırılmış serilerin grafikleri bir koordinat sistemi üzerinde çizilirse, çizilen bu frekans serilerinin grafiklerine histogram denir ve aykırı değerleri belirlemede kullanılabilir. Kutu grafiği yardımıyla ise öncelikle kartiller arası fark,

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (1)$$

elde edilir. Q1 ve Q3 en düşük ve en yüksek kartili ifade eder. IQR genişliği yardımıyla alt ve üst sınırlar belirlenir(Tukey, 1977; Walfish, 2006). Üst sınır  $Q_3 + 3/2 * IQR$  ve alt sınır  $Q_1 - 3/2 * IQR$  olarak hesaplanır ve bu sınırlar dışındaki değerler aykırı değer olarak belirlenir. Şekil 1’ de aykırı değer belirleme yöntemi gösterilmiştir. (Ovla & Taşdelen, 2012).



Şekil 1. Kutu Grafiği ile Aykırı Değer Belirleme

Regresyon analizinde ise aykırı değerleri belirlemek için en etkin ve basit yol artıkları ele almaktır(Alpar, 2013). Standartlaştırılmış artıklar, student türü artıklar, vb. değişik artık türlerine örnek oluştururlar.

### 2.1. Standartlaştırılmış Artıklar

$e_i \sim N(0, \sigma^2)$  sahip ise,  $e_i / \sigma$  'nın standart normal dağılıma sahiptir. Bu nedenle  $e_i$  artıkları  $s$  'ye bölünerek standartlaştırılmış artıklar elde edilir. Standartlaştırılmış artıklar

$$e_{is} = \frac{e_i}{s} \quad i=1,2,\dots,n \quad (2)$$

olarak hesaplanır. Bu değer  $[-2, +2]$  aralığı dışında ise artıklar, aykırı gözlem şüphesiyle incelenir (Alpar, 2013).

### 2.2. Student Türü Artıklar

$e_{is}$  artıklar her zaman standart normal dağılıma sahip olmadıklarından standartlaştırma işlemi için  $e_i$  hataları kendi standart sapması olan  $\sqrt{1 - p_{ii}}$  'ye bölünür. Student türü artıklar

$$r_i = \frac{e_i}{s\sqrt{1 - p_{ii}}} \quad i=1,2,\dots,n \quad (3)$$

olarak elde edilir. Burada  $p_{ii}$  gözlem uzaklığı değeridir ve  $0 < p_{ii} < 1$  arasında değer alır. Genellikle  $[-2, +2]$  sınırların dışına çıkan gözlemlerin aykırı gözlem olabileceği düşünülür ve bu gözlemlerin incelenmesi gerekir(Alpar, 2013).

### 2.3. Etkili Gözlemler

Etkili gözlemler, veride bulunması veya veriden çıkartılması durumunda regresyon modelinin katsayılarını ve tahminlerini etkileyen gözlemlerdir (Montgomery vd, 2013). Veri setindeki bir gözlemin etkili gözlem olup olmadığını belirlemek için Cook Uzaklığı, DFITS ölçüsü ve DFBETAS ölçüsü kullanılır.

### 2.3.1. Cook Uzaklığı ( $C_i^2$ )

Cook Uzaklığı,

$$C_i^2 = \frac{1}{p+1} r_i^2 \frac{P_{ii}}{1-p_{ii}} \quad (4)$$

$r$  student türü artıklar yardımıyla Cook uzaklığı hesaplanır.  $C_i^2$ 'nin büyük değerlerine karşılık gelen gözlemler etkili gözlemlerdir ve gözlem sayısı küçük olduğu durumlarda  $4/(n-p-1)$  değeri ile karşılaştırılır.

### 2.3.2. DFBETAS Ölçüsü

DFBETAS<sub>j,i</sub>'nin büyük değerleri  $i$ 'inci gözlemin  $j$ 'inci regresyon katsayısı üzerine dikkate değer bir şekilde etkili olduğunu göstermektedir.

$$DFBETAS_{j,i} = \frac{r_{ji}}{\sqrt{r_j' r_j}} \frac{r_i^*}{\sqrt{1-p_{ii}}} \quad (5)$$

olarak hesaplanır.  $X$   $n \times (p+1)$  boyutlu veri matrisi olmak üzere,  $R = (X'X)^{-1}X'$   $(p+1) \times n$  boyutlu matristir.  $r_j'$ ,  $R$  matrisinin  $j$ . satırını göstermektedir.  $r_i^*$ , student türü silinmiş artıkları göstermektedir. durumunda bu gözlemin incelenmesi gerekir (Alpar, 2013).

### 2.3.3. DFITS Ölçüsü

DFITS<sub>i</sub> ölçüsü,  $C_i^2$ 'ölçüsüne benzemektedir.  $i$ . gözlemin  $\hat{y}_i$  kestirim değeri üzerine etkisini incelemek için kullanılır.

$$DFITS_i = r_i^* \sqrt{\frac{P_{ii}}{1-p_{ii}}} \quad (6)$$

olarak hesaplanır.  $|DFITS_i| > 2\sqrt{(p+1)/n}$  koşulunu sağlayan gözlemler, etkili gözlem olarak sınıflandırılır (Alpar, 2013). Tablo 1' de etki ölçüleri verilmiştir.

Tablo 1. Etki ölçüleri

Etki ölçüsü	Formül	Karar kriteri
Cook Uzaklığı	$C_i^2 = \frac{1}{p+1} r_i^2 \frac{P_{ii}}{1-p_{ii}}$	$4/(n-p-1)$
DFBETAS	$DFBETAS_{j,i} = \frac{r_{ji}}{\sqrt{r_j' r_j}} \frac{r_i^*}{\sqrt{1-p_{ii}}}$	$2/\sqrt{n}$
DFITS	$DFITS_i = r_i^* \sqrt{\frac{P_{ii}}{1-p_{ii}}}$	$2\sqrt{(p+1)/n}$

## 3. KANTİL REGRESYON

Regresyon analizinde EKK yöntemi ile yapılan tahminler varsayımlarının sağlanamadığı durumlarda etkin tahmin olma niteliği taşımazlar. Bu durumda alternatif regresyon modellerine ihtiyaç duyarız. Parametrik modellerde en uygun matematiksel modelin seçilmesi gibi, alternatif regresyon modellerinin de en uygun modelin seçilip kullanılması gerekir. Alternatif regresyon modellerinden biri de Kantil regresyondur ve diğer regresyon modellerinde olduğu gibi bu yönteminde amacı değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamaktır.

Kantil regresyon, bağımlı değişkeninin koşullu dağılımının seçilen kantilleri için geliştirilmiştir. Klasik regresyon modelinin aksine hata varyansının homojenliği ve hataların dağılımı hakkında herhangi bir varsayımı yoktur. Bu durumlardan dolayı lineer regresyondan daha esnek bir yaklaşım olarak kabul edilebilir. Klasik regresyon bağımlı değişkenin koşullu beklenen değeri için bir model ararken, Kantil regresyon bağımlı değişkenin koşullu dağılımında seçilen kantiller için model belirler. Klasik regresyon bağımlı değişkeninin koşullu ortalaması ile artık kareler toplamını minimizasyonuna dayanırken, Kantil Regresyon fonksiyonları mutlak artıkların ağırlıklandırılmış toplamının minimizasyonuna dayanmaktadır. Kantil regresyon modeli,

$$y_i = x_i' \beta_\theta + u_{\theta i} \tag{7}$$

şeklinde ifade edilir. Burada,  $x_i$  ( $k \times 1$ ) boyutlu bağımsız değişkenler vektörüdür ve bağımlı değişken  $y_i$  'nin koşullu dağılımının  $\theta$ 'nci kantili ile bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal regresyonu göstermektedir.  $\beta_\theta$ ,  $\theta$  'nci kantil regresyona ile ilgili parametreler vektörüdür.  $u_{\theta i}$  hata vektörüdür.  $y_i$  'nin  $\theta$  'nci koşullu kantili,

$$Q(y_i / x_i) = x_i' \beta_\theta \tag{8}$$

Kantil regresyonunun amaç fonksiyonu, mutlak sapmaların ağırlıklandırılmış toplamıdır.  $\theta$ 'inci kantil regresyon için amaç fonksiyonu

$$\min_{\beta} \frac{1}{n} \left\{ \sum_{\theta y_i < x_i' \beta} \theta |y_i - x_i' \beta| + \sum_{\theta y_i > x_i' \beta} (1-\theta) |y_i - x_i' \beta| \right\} \text{ dir ve} \tag{9}$$

$$\hat{\beta}_\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_\theta(y_i - x_i' \beta) = \sum_{i=1}^n \rho_\theta(u_{\theta i}) \text{ minimizasyonu ile tahmin edilir. Kantil regresyonun bu formda gösterimi}$$

doğrusal programlama gösterimidir.  $p\theta$  fonksiyonu,

$$\begin{matrix} i & & i & & \square & & \square \\ i \square 1 & & i & & & & \end{matrix}$$

gösterimi doğrusal programlama gösterimidir.  $p\theta$  fonksiyonu,

$$u_{\theta i} < 0 \text{ yani } (y_i < x_i' \beta) \text{ ise } (1-\theta)u \tag{10}$$

$$u_{\theta i} \geq 0 \text{ yani } (y_i \geq x_i' \beta) \text{ ise } \theta u \tag{11}$$

olarak belirlenir. Kantil regresyonda farklı kantillerde farklı sonuçlar elde edilmektedir. Bu durum bağımlı değişkenin koşullu dağılımının farklı noktalarındaki açıklayıcı değişkenlerdeki değişikliklere farklı tepki vermesi olarak yorumlanabilir.

Kantil Regresyonun özellikleri kısaca aşağıda verilmiştir.

- EKK regresyonu  $y$ 'nin koşullu dağılımının ortalaması hakkında bilgi verirken, Kantil regresyon ise farklı kantil değerleri için  $y$ 'nin  $x$ 'e göre koşullu dağılımının tümü hakkında bilgi vermektedir.
- Kantiller  $y$  'deki sapan değerlere karşı kararlıdır.
- Hata terimi normal dağılmadığında, Kantil regresyon tahmin edicileri EKK tahmin edicilerinden çok daha etkin olabilir.
- Kantil regresyonda ki,

$$\min_{\beta} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_\theta(y_i - x_i' \beta) \tag{12}$$

bu minimisasyon doğrusal programlama gösterimidir ve tahmini kolaylaştırır.

- EKK regresyon modelinde hata terimlerinin varyansları homojen varsayılırken, Kantil regresyon modelinde ise hata terimlerinin değişkenliğine izin verilmekte ve varyans yapısına ilişkin herhangi bir varsayım bulunmamaktadır.



#### 4. UYGULAMA

DeneySEL çalışmaların birçoğunda bağımlı değişkenin ortalama değerini açıklayan değişkenlerin belirlenmesi için EKK regresyonu kullanılmaktadır. Kantil regresyon bağımlı değişkenin sadece ortalama değeri ile değil, tüm dağılımı ile ilgili çıkarsama yapmamıza olanak tanımaktadır. Bağımlı değişkenin ortalama değeri için elde edilen regresyon denklemi istatistiksel olarak anlamlı olmasa bile farklı kantil değerleri için elde edilen regresyon denklemleri anlamlı çıkabilmektedir. Bu da birçok deneysel çalışmanın ortalama etrafındaki regresyonun anlamsız çıkması nedeniyle tekrarlanmasını ya da çalışmanın tamamen çöpe atılmasına engel olmaktadır. Ayrıca deneysel çalışmalarda katlanılan maliyet ve zaman göz önüne alındığında kantil regresyonun EKK regresyonuna göre daha avantajlı bir regresyon tekniği olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın uygulama bölümünde Altındağ (2003)' in yaptığı beton kırma deneyinde elde ettiği sonuçlar kullanılmıştır. Altındağ'ın bu çalışmasında, açığa çıkan enerji miktarı ile darbe değeri arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Darbe değeri, gevreklik olarak adlandırılan bir değişken ile ölçülür. Açığa çıkan enerji ise spesifik enerji (MJ/m<sup>3</sup>) olarak adlandırılır. Çalışmada beton kırılırken açığa çıkan enerji miktarı (spesifik enerji) bağımlı değişken ve gevreklik değişkeni de bağımsız değişken olarak ele alınmıştır. Beton verisi için tanımlayıcı istatistikler Tablo 2' de verilmiştir.

**Tablo 3.** Beton verisi için tanımlayıcı istatistikler

Variables	Minimum	Q25	Q50 (Median)	Mean	Q75	Maximum
Enerji	1,30	8,16	19,20	27,03	37,50	103,09
BE3	6,58	36,63	77,87	324,36	204,88	2491,24

EKK yöntemi ile spesifik enerji ve gevreklik arasında kurulan regresyon modeli sonuçları Tablo 3'de ve regresyon denklemi eşitlik (13) 'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Beton verisi için elde edilen EKK sonuçları

Coefficients	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t  )
İntercept	14,964578	3,492765	4,284	0,000277***
BE3	0,037191	0,005285	7,037	3,6e-07***
Residual standart error: 15,22			Degrees of freedom : 23	
Multiple R-squared: 0,6829			Adjusted R-squared : 0,6691	
F-statistic: 0,6829		Degrees of freedom : 1 and 23		p-value: 3,596e-07

Regresyon denklemi,

$$\hat{y}_i = 14,965 + 0,037x_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

Buna göre EKK yöntemi ile kurulan model ve regresyon katsayıları %95 anlam düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Elde edilen bu denklemin çıkarsama amaçlı kullanılabilmesi için daha önce de değinildiği gibi hataların normal dağılıma sahip olması ve aykırı değer içermemesi gerekmektedir. Öncelikli olarak hataların normal dağılıma sahip olmadığı farklı yöntemlerle gösterilmiştir.

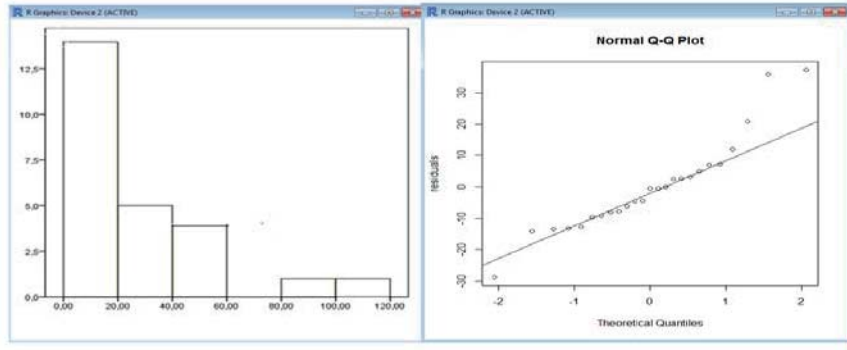
**Shapiro-Wilk Testi:** Shapiro-Wilk testi en güçlü normallik testlerinden biridir. Örneklem büyüklüğü 3 -50 sınıf aralığına kadar uygulanabilir. Normallik araştırması için hipotezler,

H<sub>0</sub>: Hatalar normal dağılıma sahiptir

H<sub>1</sub>: Hatalar normal dağılıma sahip değildir

şeklinde kurulur. Bu test uygulandığında elde edilen p=0,03412 değeri  $\alpha=0,05$  anlamlılık düzeyinden büyük olduğu için H<sub>0</sub> hipotezi reddedilir ve hataların normal dağılıma sahip olmadığı sonucuna varılır. Hatalara ilişkin histogram ve Q-Q grafiği de Normallik araştırmasında kullanılan görsel yöntemlerdir. Eşitlik (13)' de verilen denklemden elde edilen hatalara ilişkin histogram ve Q-Q grafiği Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'ye bakıldığında histogramın Normal dağılım görünümünde olmadığı açıktır. Q-Q grafiğinde ise alt ve üst uçlarda diğer gözlemlerden oldukça farklılık gösteren veriler dikkat çekmektedir. Bu veriler verinin Normal dağılmadığını göstermektedir. Ayrıca bu verilerin dikkatle incelenmesi gerekmektedir. Çeşitli etki ölçülerine göre tüm hata değerleri incelenmiş ve Tablo 4'de verilmiştir.



(a) (b)  
Şekil 2. a) Hatalara ilişkin histogram b) Q-Q grafiği

Tablo 4. Modeldeki etkili gözlemler

	COOK	DFITS	DFBETAS
1	0,02212	-0,72375	0,00052
2	0,02191	-0,72743	0,00053
3	0,02499	-0,77252	0,00056
4	0,01046	-0,47806	0,0003
5	0,01013	-0,48821	0,00035
6	0,0054	0,33681	-0,00019
7	0	-0,00377	0
8	0,00003	-0,02619	0,00002
9	0,00075	0,13063	-0,00009
10	0,00004	-0,02863	0,00002
11	0,01632	0,59812	-0,00038
12	0,00105	0,1443	-0,00006
13	0,00076	0,13056	-0,00009
14	0,00798	-0,42971	0,0003
15	0,00765	-0,42993	0,00032
16	0,60071	-7,64862	-0,00521
17	0,00452	-0,31808	0,00021
18	0,01794	-0,62355	0,00038
19	0,00186	-0,18549	0,00001
20	0,00242	0,2186	0,00009
21	0,01196	0,70383	0,00061
22	0,13643	1,62658	-0,00058
23	0,04264	0,90759	-0,00031
24	0,32646	3,81212	0,00326
25	0,17315	-6,97284	-0,00301

COOK uzaklığı için değeri ile,  $4 / (n-p-1) = 0,17$  değeri ile,

DFITS ölçüsü için  $2\sqrt{(p+1)/n} = 0,57$  değeri ile,

DFBETAS ölçüsü için  $2/\sqrt{n} = 0,4$  değeri ile karşılaştırılmıştır ve etkili gözlemler kırmızı renkte yazılmıştır.

EKK regresyon denkleminin çıkarsama amaçlı kullanılması mümkün olmadığından deneyin tekrar edilmesi gerekir. Bu hem zaman hem de maliyet açısından büyük sorunlar yaratmaktadır. Beton verisi için bağımlı değişkenin  $\tau = 0.25$ ,  $\tau = 0.50$  ve  $\tau = 0.75$  kantil değerleri için elde edilen kantil regresyon sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Kantil regresyon sonuçları

$\tau = 0.25$				
Coefficients	Value	Std.Error	t value	Pr(>  t  )
Sabit (Intercept)	5,80032	3,21197	1,80584	0,08405
BE3	0,03905	0,00882	4,42652	0,00019
<b>R2 = 0,924491</b>				
$\tau = 0.50$				
Coefficients	Value	Std.Error	t value	Pr(>  t  )
Sabit (Intercept)	14,48486	3,64834	3,97026	0,00061
BE3	0,03557	0,2142	1,66079	0,11033
<b>R2 = 0,861969</b>				
$\tau = 0.75$				
Coefficients	Value	Std.Error	t value	Pr(>  t  )
Sabit (Intercept)	17,25858	8,19713	2,10544	0,04638
BE3	0,04269	0,01238	3,44856	0,00219
<b>R2 = 0,682869</b>				

$\tau = 0.25$ ,  $\tau = 0.50$  ve  $\tau = 0.75$  kantil regresyon denklemleri ise sırasıyla,

$$\hat{y}_i = 5,800 + 0,39x_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (14)$$

$$\hat{y}_i = 14,484 + 0,035x_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (15)$$

$$\hat{y}_i = 17,258 + 0,042x_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (16)$$

şeklinde yazılabilir. Oluşturulan modellerin anlamlılığı  $\alpha = 0,05$  anlam düzeyinde test edilmiştir. Bağımlı değişkenin  $\tau = 0.25$ 'inci kantil değerine göre kurulan model ve BE3 değişkeninin katsayısı istatistiksel olarak anlamlıdır.  $\tau = 0.50$ 'e göre kurulan kantil regresyon sonuçları incelendiğinde ise model ve sabit terimin anlamlı olduğu görülmüştür.  $\tau = 0.75$  için kurulan kantil regresyon sonuçlarına göre model, sabit terim ve BE3 değişkeninin katsayısı istatistiksel olarak anlamlıdır.

## 5. SONUÇ

Birçok mühendislik çalışmasına bakıldığında regresyon analizinin yaygın olarak kullanıldığı görülmüş, ancak regresyon analizinin varsayımlarının kontrolünün yapılmadığı tespit edilmiştir. Gerçek veri seti ile çalışılırken regresyon analizinde karşılaşılan en büyük problem hata terimlerinin normal dağılıma uymamasıdır. EKK

Regresyonunun çıkarsama amaçlı kullanılabilmesini için sağlanması gereken en önemli varsayımlardan biri budur. Bu çalışmada mühendislik alanında regresyon analizi uygulamalarına farklı bir yaklaşım olarak Kantil regresyon yöntemi tanıtılmış ve beton kırma deneyine ilişkin verilerin analizine uygulanmıştır.

EKK tekniği kullanıldığında, gevreklikteki (BE3) bir birim artışın açığa çıkan enerji miktarı üzerinde yaratacağı ortalama artış miktarı 0,037 birim olacağı saptanmıştır. Modelin açığa çıkan enerji miktarını açıklama oranı 0,6829'dur. Model ve katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır. Ancak istatistiksel bir teknikten elde edilen sonuçların güvenilirliği, kullanımı üzerindeki varsayımların sağlanması ile doğru orantılıdır. EKK tekniği ile elde edilen modelin çıkarsama amaçlı kullanılması, hata terimleri normal dağılıma sahip olmadığından ve aykırı değer içerdiğinden uygun değildir. Bu model yardımıyla yapılacak çıkarsamalar gerçeği yansıtmayacaktır.

Kantil regresyon sonuçlarına bakıldığında gevreklikteki (BE3) bir birimlik artışın spesifik enerjinin çeşitli kantilleri üzerinde farklı miktarda artışa neden olduğu Tablo 5'ten görülmektedir. Bağımlı değişkenin  $\tau = 0.50$ 'inci kantil değerine (bir başka ifade ile medyan değerine) göre kurulan modelde BE3 değişkeninin anlamsız olduğu belirlenmiştir. Bağımsız değişkenin anlamsız olduğu bu model çıkarsama amaçlı kullanılamaz. Bağımlı değişkenin  $\tau = 0.25$ 'inci kantil değerine göre kurulan modelde ise sabit terim anlamsızdır. Modelin açığa çıkan enerji miktarını açıklama oranı 0,9245'tir.  $\tau = 0.75$ 'inci kantil değerine göre kurulan modelde hem sabit terim hem de BE3 değişkeni istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu modelin bağımlı değişkeni açıklama oranı 0,6829'dur. Kurulan modelde sabit terimin bulunması teknik açıdan gerekli olduğu durumda  $\tau = 0.75$ 'inci kantil değerine göre kurulan model, gerekmediği durumda ise  $\tau = 0.25$ 'inci kantil değerine göre kurulan model tercih edilmelidir. Her iki modelin bağımlı değişkeni açıklama oranı EKK tekniği ile kurulan modelden az değildir. Ayrıca varsayımsal bozulmalara karşı da dayanıklı olduğundan çıkarsama amaçlı kullanılabilir.

Bu çalışmada bir maden mühendisliği uygulaması olan spesifik enerji miktarı modellenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu çalışma ile mühendislik alanındaki çalışmalarda kullanılan klasik EKK regresyonuna alternatif olarak Kantil regresyon tanıtılmıştır. Mühendislik alanında yapılacak çalışmalarda araştırmacılara yol gösterici bir çalışma olabilir.

## **6. REFERANSLAR**

- Alpar, R. (2013). Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemler. Ankara, Detay Yayıncılık.
- Altındağ, R. (2003). Correlation of specific energy with rock brittleness concepts on cutting, *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 15, 163-171.
- Bassett, G.W. & Chen, H-L. (2001). Quantile style: return-based attribution using regression quantiles, *Physica- Verlag HD, Chicago*, 293-305.
- Buchinsky, M. (1994). Changes in the u.s. wage structure 1963-1987: application of quantile regression, *The Econometric Society*, 62(2), 405-458. doi: 10.2307/2951618.
- Cai, Y. & Reeve, D.E. (2013). Extreme value prediction via a quantile function model. *Coastal Engineering*, 77, 91-98. doi:10.1016/j.coastaleng.2013.02.003.
- Chen, C. & Wei, Y. (2005). Computational issues for quantile regression. special issue on quantile regression and related methods, *The Indian Journal of Statistics*, 67(2), 399-417. doi: 10.2307/i25053424
- Crowley, J.& Hu, M. (1977). Covariance analysis of heart transplant survival data. *Journal of the American Statistical Association*, 72, 27-36. doi: 10.1080/01621459.1977.10479903
- Çağlayan E. & Arikan E. (2011). Determinants of house prices in istanbul: a quantile regression approach. *Qual, Quant*, 45, 305-317. doi:10. 1007/s11135-009-9296-x.
- Dehghani, H., Vahidi, B., & Hosseinian, S.H. (2017). Wind farms participation in electricity markets considering uncertainties. *Renewable Energy*, 101, 907-918. doi:10.1016/j.renene.2016.09.049.
- Ergül, B. (2003). Robust regresyon ve uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- He, Y., Liu, R., Li, H., Wang, S., & Lu, X. (2016). Short-term power load probability density forecasting method using kernel-based support vector quantile regression and Copula theory. *Applied Energy*, 185, 254-266. doi:10.1016/j.apenergy.2016.10.079.
- Hendricks, W. & Koenker, R. (1992). Hierarchical spline models for conditional quantiles and the demand for electricity, *Journal of the American Statistical Association*, 87, 58-68. doi: 10.1080/01621459.1992.10475175.
- Huang, Y. F., Mirzaei, M., & Amin, M.Z.M. (2016). Uncertainty Quantification in Rainfall Intensity Duration Frequency Curves based on Historical Extreme Precipitation Quantiles. *Procedia Engineering*, 154, 426-432. doi:10.1016/j.proeng.2016.07.425.
- Hüdaverdi, T. (2015), Farklı regresyon modelleri ile patlatma kaynaklı yer sarsıntısının tahmin edilmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1), 141-150. doi: 22746/242810.
- Koenker R. (2005). *Quantile regression*, Cambridge University Press, NY 10011-4211, New York, USA. Koenker, R. & Bassett, G. (1978). Regression quantiles, *Econometrica*, 46(1), 33-50. doi: 10.2307/1913643.
- Koenker, R. & Geling, O. (2001). A quantile regression survival analysis, *Journal of the American Statistical Association*, 96, 458-468. doi: 10.1198/016214501753168172.
- Koenker, R., & Hallock K., F. (2001). Quantile regression an introduction. *Journal of Economic Perspectives*, 15(4):143-156. doi:10.2307/i346045.
- Koenker, R., & Schorfheide, F. (1994). Quantile spline models for global temperature change. *Climatic Change*, 28, 395-404. doi:10.1007/BF01104081.
- Lv, Z., Zhao, J., Lia, Y., & Vang, W. (2016). Use of a quantile regression based echo state network ensemble for construction of prediction Intervals of gas flow in a blast furnace. *Control Engineering Practice*, 46, 94-104. doi:10.1016/j.conengprac.2015.10.003.
- Machado, A.F. & J, Mata. (2005). Counterfactual decomposition of changes in wage distributions using quantile regression, *Journal of Applied Econometrics*, 20(4), 445-465. doi: 10.1002/jae.788.

- Martins, P.S. & Pereira, P.T. (2004). Does education reduce wage inequality? Quantile regression evidence from 16 countries, *Labour Economics*, 11(3), 355-371. doi: 10.1016/j.labeco.2003.05.003.
- Montgomery, D.C. & Peck, E.A. & Vining, G.G., (2013), *Doğrusal regresyon analizine giriş*, Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık.
- Muraleedharan, G., Lucas, C., & Guedes Soares, C. (2016). Regression quantile models for estimating trends in extreme significant wave heights. *Ocean Engineering*, 118, 204–215. doi:10.1016/j.oceaneng.2016.04.009.
- Muthusamy, M., Godiksen, P.N., & Madsen, H. (2016). Comparison of different configurations of quantile regression in estimating predictive hydrological uncertainty. *Procedia Engineering*, 154, 513–520. doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.546.
- Ovla, H.D. & Taşdelen, B. (2012), Aykırı değer yöntemi, *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(3), 1-8.
- Pandey, G.R.& Nguyen, V.T.V. (1999). A comparative study of regression based methods in regional flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, 225, 92–101. doi:10.1016/S0022-1694(99)00135-3.
- Seo, J.H., Perry, V.G., Tomczyk, D. & Solomon G.T. (2014). Who benefits most? The effects of managerial assistance on high-versus low-performing small businesses, *Journal of Business Research*, 67, 2845-2852. doi: 10.1016/j.jbusres.2012.07.003.
- Tan, X-P., & Wang, X-Y. (2016). Dependence changes between the carbon price and its fundamentals: A quantile regression approach. *Applied Energy*, 190, 306–325. doi:10.1016/j.apenergy.2016.12.116.
- Tareghian R. & Rasmussen, P. (2013). statistical downscaling of precipitation using quatile regression. *Journal of Hydrology*, 487, 122-135. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.02.029.
- Tukey, J.W. (1977). *Exploratory data analysis*, Addison-Wesley Publishing Company,
- Walfish, S. (2006). A review of statistical outlier methods. *Pharmaceutical Technology*, 30(11), 82-88.
- Wang, D. H. -M., Yu, T. H. -K., & Liu, H. -Q. (2013). Heterogeneous effect of high-tech industrial R&D spending on economic growth. *Journal of Business Research*, 66(10), 1990–1993. doi:10.1016/j.jbusres.2013.02.023
- Yu, K., Lu, Z. & Stander, J. (2003). Quantile regression: applications and current research areas, *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*. 52,331-350. doi: 10.1111/1467-9884.00363.
- Yu, T.H-K. (2011). Heterogeneous effects of different factors on global ICT adoption, *Journal of Business Research*, 64, 1169-1173. doi: 10.1016/j.jbusres.2011.06.017.
- Yu, T. H. -K., Wang, D. H. -M., & Chang, L. -Y. (2011). Examining the heterogeneous effect of healthcare expenditure determinants. *International Journal of Behavioural and Healthcare Research*, 2(3), 205–213. doi: 10.1504/IJBHR.2011.041044





e-issn: 1308-5514