



Dicle Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

**mühendislikdersi**  
journal of engineering

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
**mühendislikdersi**  
Cilt: 10 Sayı: 1, Mart 2019, ISSN: 1309-8640

## Hakem Listesi 2019 / Reviewers List 2019

DUMF Mühendislik Dergisi editörleri aşağıdaki listedeki hakemlere değerli katılarından ötürü teşekkürlerini sunar.

*The editors of the Dicle University Journal of Engineering (DUJE) gratefully acknowledge the contributions of the following reviewers.*

Metin UÇURUM (Bayburt Üniversitesi)  
Zeki ARGUNHAN (Batman Üniversitesi)  
Veysel ÖZCEYHAN (Erciyes Üniversitesi)  
Ebru AKPINAR (Fırat Üniversitesi)  
Sedef KENT (İTÜ)  
Tamer BAĞATUR (DÜ)  
Z. Fuat TOPRAK (DÜ)  
Pınar DEMİRCİOĞLU (ADÜ)  
Necmettin SEZGİN (Batman Üniversitesi)  
Sibel GÜNEŞ (Erciyes Üniversitesi)  
Ömer Faruk DURSUN (İnönü Üniversitesi)  
Orhan ÇAKAR (Fırat Üniversitesi)  
Uğur ÇALIGÜLÜ (Fırat Üniversitesi)  
Ayşegül UÇAR (Fırat Üniversitesi)  
Hasan KARABULUT (Karabük Üniversitesi)  
Ebru MANCUHAN (Marmara Üniversitesi)  
Murat ÖRNEK (İskenderun Teknik Üniversitesi)  
Vedat TOĞAN (KTÜ)  
Erkut SAYIN (Fırat Üniversitesi)  
Resul DAŞ (Fırat Üniversitesi)  
Selahattin KOCAMAN (İskenderun Teknik Üniversitesi)  
Mehmet Azmi AKTACİR (Harran Üniversitesi)  
Mehmet Cihan AYDIN (Bitlis Eren Üniversitesi)  
Yasin ŞÖHRET (Süleyman Demirel Üniversitesi)  
Ayhan BEKLEYEN (DÜ)  
Mücahit YILDIRIM (DÜ)  
Halil GÖRGÜN (DÜ)  
Abdurrahman SAYDUT (DÜ)  
Bilal GÜMÜŞ (DÜ)  
Nizamettin HAMİDİ (DÜ)  
Mehmet Salih KESKİN (DÜ)  
Zahir DÜZ (DÜ)  
İdris BEDİRHANOĞLU (DÜ)  
Berna BOLAT (YTÜ)  
Teoman KARADAĞ (İnönü Üniversitesi)  
Mahmut Temel ÖZDEMİR (Fırat Üniversitesi)

Mustafa BOYRAZLI (Fırat Üniversitesi)  
Murat IŞIK (Ahi Evran Üniversitesi)  
Hakan GÖKMEŞE (Necmettin Erbakan Üniversitesi)  
Musa YILMAZ (Batman Üniversitesi)  
Ahmet ATALAY (Atatürk Üniversitesi)  
Recep Koray KIYILDI (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)  
Turgut ÖZSEVEN (Gaziosmanpaşa Üniversitesi)  
İsmail DABANLI (İstanbul Medipol Üniversitesi)  
Hasan Basri BAŞAĞA (KTÜ)  
İlhan Burak DURAN (İstanbul Kültür Üniversitesi)  
Altuğ SAYGILI (Muğla Sıtkı Kocaman Üniversitesi)  
Muhammet BAYKARA (Fırat Üniversitesi)  
Murat KİLİT (Afyon Kocatepe Üniversitesi)  
Onur ARSLAN (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)  
Fatih NUROĞLU (KTÜ)  
Dursun ÖZTÜRK (Bingöl Üniversitesi)  
Abdullah KEÇECİLER (Dumlupınar Üniversitesi)  
Yusuf BİLGİÇ (Fırat Üniversitesi)  
Engin Ufuk ERGÜL (Amasya Üniversitesi)  
Mehmet Emin ÖNCÜ (DÜ)  
Mehmet NERGİZ (DÜ)  
Ömer Faruk CAN (DÜ)  
Sedat BİNGÖL (DÜ)  
Fatih KOÇYİĞİT (DÜ)  
Hayrullah AKYILDIZ (DÜ)  
İbrahim DOLAK (DÜ)  
Gurbet CANPOLAT (Siirt Üniversitesi)  
Mustafa Özgür Yaylı (Uludağ Üniversitesi)  
Doğay ALTINEL (İstanbul Medeniyet Üniversitesi)  
Ömer TÜRK (Mardin Artuklu Üniversitesi)  
Hasan POLAT (Muş Alparslan Üniversitesi)  
Türker TUNCER (Fırat Üniversitesi)  
Mesut ŞEKER (DÜ)  
Mesut HÜSEYİNOĞLU (DÜ)  
Ali Recai ÇELİK (DÜ)

# İçindekiler / *Table of Contents*

## Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering

- Güç sistemlerindeki optimum otomatik gerilim regülasyonu için çoklu amaç fonksiyonunun belirlenmesi (Araştırma Makalesi)  
*Determination of Multi-objective optimization for Optimum Automatic Voltage Regulation in Power Systems (Research Article)*  
**Elif KILIÇ, Mahmut Temel ÖZDEMİR** 001
- Motor Nöron Yetilerini Kaybetmiş Bireylerin İletişimi için SSVEP Tabanlı Beyin Bilgisayar Arayüzü Geliştirilmesi (Araştırma Makalesi)  
*Development of SSVEP Based Brain Computer Interface for Communication of Individuals with Loss of Motor Neurons (Research Article)*  
**Mehmet KARAKÖSE, Hasan YETİŞ, Ayşe Beyza GÖKBULUT, İlhan AYDIN** 013
- Mamogramların Sınıflandırılmasında Dokusal Özelliklerin Etkileri (Araştırma Makalesi)  
*The Effects Of Textural Features On Mammograms Classification (Research Article)*  
**Canan ORAL, Ayşe AYDIN YURDUSEV, Erhan BERGİL** 023
- Adaptif Huzme Yönlendirmeli 7 Elemanlı ETPID Anten Tasarımı (Araştırma Makalesi)  
*Design of 7 Element ESPAR Antenna for Adaptive Pattern Steering (Research Article)*  
**Peyman MAHOUTI, Mehmet Ali BELEN, Samet ALTUNALEV** 035
- Türkçe Köşe Yazılarında Yapay Sinir Ağlarıyla Yazar ve Gazete Tahmin Etme (Araştırma Makalesi)  
*Prediction of Writers and Newspapers by Artificial Neural Networks in Turkish Corner Manuscripts (Research Article)*  
**Emrah AYDEMİR** 045
- Saldırı tespit ve engelleme araçlarının incelenmesi (Araştırma Makalesi)  
*Investigation of intrusion detection and prevention tools (Research Article)*  
**Muhammed BAYKARA, Resul DAŞ** 057
- Segmentasyon yapmadan patolojik kalp sesi kayıtlarının tespiti için bir örüntü sınıflandırma algoritması (Araştırma Makalesi)  
*Detection of pathological heart sound without segmentation by using SVM, kNN and ensemble methods of classification (Research Article)*  
**Abdulnasır YILDIZ, Hasan ZAN** 077
- 915 MHz taşıyıcı frekansında RF enerji hasatlama (Araştırma Makalesi)  
*RF energy harvesting at 915 MHz carrier frequency (Research Article)*  
**Mustafa CANSIZ** 091
- Konuşma Tabanlı Duygu Tanımda Ön İşleme ve Öznitelik Seçim Yöntemlerinin Etkisi (Araştırma Makalesi)  
*The Impact of Pre-processing and Feature Selection Methods for Speech Emotion Recognition (Research Article)*  
**Turgut ÖZSEVEN** 099

Maksimum Güç Noktası İzleyicisinde Kullanılan Artan İletkenlik Algoritmasının FPGA Tabanlı Gerçeklenmesi (Araştırma Makalesi)  
*Implementing FPGA-Based Incremental Conductance Algorithm Used in Maximum Power Point Tracking (MPPT) (Research Article)*  
**Seyran AY, Muhammet Ali ARSERİM** **113**

## Makina Mühendisliği / Mechanical Engineering

Kömür yakıcılarında alev görüntüsü temelli çoklu lineer regresyon analizi (Araştırma Makalesi)  
*Multiple Linear Regression Analysis Based on Flame Image in Coal Burners (Research Article)*  
**Cem ONAT, Mahmut DAŞKIN, Mehmet Emin TAĞLUK, Muhammed Fatih TALU, İsmail YÜKSEK** **121**

Parabolik yoğunlaştırıcı toplayıcı-yansıtıcı yüzeyin matematiksel modellenmesi (Araştırma Makalesi)  
*Mathematical modelling of parabolic condensing collector-reflector Surface (Research Article)*  
**Samim DÜNDAR** **131**

Al7050 Serisi Talaşlar Kullanılarak Sıcak Ekstrüzyon Yöntemi ile Üretilen %5 B<sub>4</sub>C Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mikromekanik Özellikleri (Araştırma Makalesi)  
*Micromechanical Properties of 5% B<sub>4</sub>C Reinforced Composite Materials Produced by Hot Extrusion Method using Al7050 Series Chips (Research Article)*  
**Burak KURTOĞLU, Arif UZUN** **139**

Şanlıurfa ilinde yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımının modellenmesi (Araştırma Makalesi)  
*Modelling of Global Solar Radiation on Horizontal Surface in Şanlıurfa (Research Article)*  
**Hakan KARAKAYA, Ali Serkan AVCI, Umut ERCAN, Mehmet Ali KALLIOĞLU** **147**

Ram makinesinde kurutma prosesinin enerji verimliliği analizi (Araştırma Makalesi)  
*Energy efficiency analysis of drying process in industrial type convectional dryer (Research Article)*  
**Ahmet Erhan AKAN, Derya Burcu ÖZKAN** **157**

Mikrokanallı ısı alıcıda SiO<sub>2</sub>-su nanoakışkanının karma taşınım özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi (Araştırma Makalesi)  
*Experimental investigation of mixed convection properties of SiO<sub>2</sub>-water nanofluids in a microchannel heat sink (Research Article)*  
**Bayram ŞAHİN, Rahim Aytuğ ÖZER, İbrahim ATEŞ, Eyüphan MANAY** **169**

Difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilmiş Ti6Al4V ve AA7075 levhaların bağlantı süresinin mekanik özelliklere etkisi (Araştırma Makalesi)  
*The effect of connection time of the Ti6Al4V and AA7075 plates joint with diffusion welding method on mechanical properties (Research Article)*  
**Haluk KEJANLI, M. Selçuk KESKİN, Sedat BİNGÖL** **181**

Atık Yağlama Yağından Elde Edilen Yakıt-Motorin Karışımlarının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarının Araştırılması (Araştırma Makalesi)  
*Investigation of Engine Performance and Exhaust Emissions of Fuel-Diesel Mixtures Obtained from Waste Lubricating Oil (Research Article)*  
**Mahmut DEMİR, Orhan ARPA, Recep YUMRUTAŞ** **191**

- Farklı Alüminyum Alaşımların Difüzyon Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi (Araştırma Makalesi)  
*Joining of Different Aluminum Alloys with Diffusion Welding Method and Investigation of Mechanical Properties (Research Article)*  
**M. Selçuk KESKİN, Haluk KEJANLI, Sedat BİNGÖL** **203**

## Maden Mühendisliği / Mining Engineering

- Eskişehir bastnasit cevherinde bulunan toryumun zenginleştirilmesi (Araştırma Makalesi)  
*Enrichment of thorium in Eskişehir bastnasit ore (Research Article)*  
**İbrahim DOLAK, Recep ZİYADANOĞULLARI** **211**
- Prunus avium kiraz yaprağı özütü ile nanopartikül (AgNP) sentezi ve antimikrobiyal etkisinin incelenmesi (Araştırma Makalesi)  
*Synthesis, characterization and antimicrobial applications of silver nanoparticles (AgNPs) with cherry (prunus avium) leaf (Research Article)*  
**Mehmet Fırat BARAN** **221**
- Taguchi Yöntemi Kullanılarak Aladağ (Adana) Krom Cevherinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması (Araştırma Makalesi)  
*The Investigation for Beneficiation of Aladağ (Adana) Chromite by using Taguchi Method (Research Article)*  
**Tuğba TABAZIK, Fatma Deniz ÖZTÜRK** **229**

## İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

- Eşik yapısı mansabında oluşan yerel oyulmaların hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile analizi (Araştırma Makalesi)  
*Investigation of Local Scours under Vertical Drop Using CFD (Research Article)*  
**M. Cihad AYDIN, M. Emin EMİROĞLU, Ali Emre ULU, Erdinç İKİNCİOĞULLARI** **239**
- Bilimsel çalışmalarda kullanılan yapay zeka uygulamalarının ve trendlerinin incelenmesi (Araştırma Makalesi)  
*Investigation of some artificial intelligence applications and their trends used in scientific studies (Research Article)*  
**Soner UZUNDURUKAN, Kemal Saplıoğlu** **249**
- Genetik İfadeli Programlama İle Taşkın Öteleme Modellemesi (Araştırma Makalesi)  
*Modeling Flood Routing with Genetic Expression Programming (Research Article)*  
**Şafak Ok ORAL, Fevzi ÖNEN** **263**
- Dıştan yalıtım uygulamalarında farklı duvar modelleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi ve ekonomik analizleri (Araştırma Makalesi)  
*Determination of optimum insulation thicknesses and economic analysis for different wall models in external wall insulation applications (Research Article)*  
**Süheyla Yerel KANDEMİR, Veli BEKTAŞ, Emin AÇIKKALP** **275**
- Yürüme Engelli Bireyler İçin Kentiçi Ulaşımında Güzergah İyileştirme Önerisi: Pilot Bölge Çalışması (Araştırma Makalesi)  
*Proposal for Route Improvement in Urban Transportation for Disabled People: Pilot Region Study (Research Article)*  
**Meltem SAPLIOĞLU, Ayşe ÜNAL** **289**

Su talep seviyesine göre kurak veya sulak dönem analizi ( <i>Araştırma Makalesi</i> ) <i>Dry and wet period analysis by demand level (Research Article)</i>	<b>301</b>
<b>Eyyüp ŞİŞMAN</b>	
Açılı yerleştirilmiş şerit ankrajların çekme davranışının sayısal olarak incelenmesi ( <i>Araştırma Makalesi</i> ) <i>Numerical investigation of uplift capacity of inclined strip anchor plates (Research Article)</i>	<b>311</b>
<b>Selçuk BİLDİK</b>	
Keskin Bir Cisim ile Temas Sonucu Yaralanma Kazalarının Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Yapay Sinir Ağları ile Analizi ( <i>Araştırma Makalesi</i> ) <i>The Analysis of Accidents with Contact of Sharp Objects by using Analytic Hierarchy Process and Artificial Neural Networks (Research Article)</i>	<b>323</b>
<b>Bilal Umud AYHAN, Onur Behzat TOKDEMİR</b>	
Uçucu kül ve silis dumanı ikameli üçlü karışımlardan üretilen kendiliğinden yerleşen harçların durabilite ve dayanım özellikleri ( <i>Araştırma Makalesi</i> ) <i>Durability and strength properties of self-compacting mortars produced from ternary mixtures of fly ash and silica fume (Research Article)</i>	<b>335</b>
<b>Ahmet BENLİ, Mehmet KARATAŞ</b>	
Kazık Gruplarında Eksenel Yük Dağılımının Bulunması için Yeni bir Yöntem ( <i>Araştırma Makalesi</i> ) <i>New method for estimating the pile axial loads in piled-rafts (Research Article)</i>	<b>347</b>
<b>Murat HAMDİRİ</b>	
Kuraklık Riskinin bulanık Mantık Yardımıyla Türkiye Genelinde Değerlendirilmesi ( <i>Araştırma Makalesi</i> ) <i>Drought Risk Assessment by Using Fuzzy Logic in Turkey (Research Article)</i>	<b>359</b>
<b>İsmail DABANLI</b>	
Enerji Kimlik Belgelerinin Enerji Etkin Mimari Tasarım Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi ( <i>Araştırma Makalesi</i> ) <i>Evaluation of Energy Identity Certificates in terms of Energy efficient Design Criteria (Research Article)</i>	<b>373</b>
<b>Can Tuncay AKIN, Sultan KAPLAN</b>	
Düşük dayanımlı betona sahip betonarme kısa kolonların kesme etkileri altında davranışlarının incelenmesi ( <i>Araştırma Makalesi</i> ) <i>Investigation of Shear Behaviour of Reinforced Concrete Captive Column with Low Strength Concrete (Research Article)</i>	<b>385</b>
<b>Mehmet ŞEKER, İdris BEDİRHANOĞLU</b>	
İsale hatlarında deprem riskinin olasılıksal hesabı ve bir örnek uygulama ( <i>Araştırma Makalesi</i> ) <i>Probabilistic seismic damage estimation in water mains and an example application (Research Article)</i>	<b>397</b>
<b>Gökhan ÇALIM, İhsan Engin BAL, Gülten GÜLAY</b>	

---

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (DÜMF) Mühendislik Dergisi yayınlarında varılan sonuçlar veya fikirlerin sorumluluğunu taşımamaktadır. Üniversite'nin, bu yayında ileri sürülen bilgi, alet, ürün veya işlevin doğruluğu, bütünlüğü, uygunluğu ve kullanılabilirliği konusunda bir yüklenimi ve iddiası bulunmamaktadır. Bu nedenle herhangi bir şekilde sorumlu tutulamaz.

Bu yayının herhangi bir kısmı, mühendislik dergisinin yazılı izni olmadıkça kaynak gösterilmeden yayınlanamaz, bilgi saklama sistemine alınamaz veya elektronik, mekanik, fotokopi, kayıt veya başka sistemlerle çoğaltılamaz.



## **Dicle Üniversitesi Adına yayın Sahibi / Privilige Owner**

Mehmet Sıraç ÖZERDEM

## **Baş Editör / Editor-in-Chief**

Mehmet Sıraç ÖZERDEM

## **Editörler / Editors**

Mehmet Emin ÖNCÜ

Kadir TURAN

Mehmet Salih KESKİN

İbrahim KAYA

Bilal GÜMÜŞ

Mustafa AYHAN

Sedat BİNGÖL

Abdulnasır YILDIZ

Fevzi ÖNEN

Atilla Gencer DEVECİOĞLU

Halil GÖRGÜN

Nizamettin HAMİDİ

Abdurrahman SAYDUT

## **Tasarım-Dizgi / Designing-Editing**

Mesut ŞEKER

## **Yazışma Adresi**

Mühendislik Dergisi, Koordinatörlük ve Yayın Bürosu,

Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 21280 Diyarbakır

Telefon : +90-412 248 82 17, Faks : +90-412-248 82 18

Elektronik posta : [muhendislikdergisi@dicle.edu.tr](mailto:muhendislikdergisi@dicle.edu.tr)

web : <http://dergipark.gov.tr/dumf>

Dergide yayınlanan yazılar izinsiz başka bir yerde yayınlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz.

ISSN Basılı Materyal: 1309 - 8640

Online ISSN: 2146-4391



## Güç sistemlerindeki optimum otomatik gerilim regülasyonu için çoklu amaç fonksiyonunun belirlenmesi

**Elif KILIÇ\***

Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tunceli  
[elifkili@munzur.edu.tr](mailto:elifkili@munzur.edu.tr) ORCID: 0000-0002-3237-6286

**Mahmut Temel ÖZDEMİR**

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ  
[temelozdemir@gmail.com](mailto:temelozdemir@gmail.com) ORCID: 0000-0002-5795-2550

Geliş: 16.02.2018, Kabul Tarihi: 15.05.2018

### Öz

Elektrik güç sistemlerinde sistem gerilimi, güç kalitesine etki eden en önemli parametrelerden biri olup çok kritik bir öneme sahiptir. Güç sistemlerinde gerilim kontrolü otomatik gerilim regülatörleri (OGR) ile yapılmaktadır. Otomatik gerilim regülatörleri, sistem geriliminin sabit tutulmasını sağlarlar. Bir OGR sisteminde PID denetleyici parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi son derece önemlidir. Bu parametrelerin en iyilerini bulma yöntemlerinden birisi de optimizasyon tekniklerini kullanmaktır. Amaç fonksiyonu, optimizasyon algoritmalarının doğru yönlendirilmesi için kritik öneme sahiptir. Optimizasyon tekniklerinde kullanılan amaç fonksiyonları genellikle ITSE, ITAE, ISE ve IAE'dir. Ancak en doğru sonuca ulaşmak için amaç fonksiyonunun sisteme, probleme ve kısıtlara göre değişiklik göstermesi gerekmektedir. Dolayısı ile optimizasyonun birden fazla amaç gözetilerek yapılması ihtiyacı ortaya çıkar. Kısıtlı bir süre içerisinde otomatik gerilim regülatörleri için birden fazla amaç gözetilerek en iyi amaç fonksiyonunun elde edilmesi, bir çok amaç fonksiyonlu optimizasyon problemi oluşturur. Bu bağlamda yapılan bu çalışmada, bir OGR sisteminde optimal PID kazançlarının belirlenmesi için en iyi amaç fonksiyonunu bulma amaçlanmıştır. Birden fazla amacı karşılamak amacıyla ortaya çıkan çok amaç fonksiyonlu optimizasyon problemi, bu çalışma kapsamında belirlenen en uygun skalarizasyon tekniği ile birden fazla tek amaç fonksiyonlu optimizasyon problemine indirgenmiş, indirgenen her bir problem ayrı ayrı eş zamanlı olarak çözülmüştür. Çalışmada optimizasyon yöntemi olarak literatürde yaygın olarak bilinen PSO kullanılmıştır. Belirlenen polinomal amaç fonksiyonunun literatürde yaygın olarak kullanılan 4 amaç fonksiyonuna göre çok daha iyi sonuçlar yakaladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Otomatik Gerilim Regülatörü; Çok Amaç Fonksiyonlu Optimizasyon; Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Elektrik üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine elektrik enerji akışını sağlayan sistemlerin bütününe enterkonnekte sistem denir. Bu enerji akışı talebe göre sürekli ve kaliteli bir şekilde sağlanmalıdır. Talepteki reaktif güç değişimi üretim merkezindeki generatörün terminal geriliminde değişime neden olmaktadır. Bu durumun üstesinden gelebilmek için terminal gerilimini nominal değerinde tutacak generatör uyarım kontrolü ya da otomatik gerilim regülatörü (OGR) sistemleri kullanılarak sistem gerilimi kontrol edilmelidir. Uygun şekilde kontrol edilemez ise durum sistemin çökmesi ile sonuçlanabilir (Özdemir vd., 2015). Bu da bir güç sisteminin yaşayabileceği en kötü olaylardan biridir.

OGR'nin temel görevi yükte normal, küçük ve yavaş değişimler olduğu zaman uyarım akımını kontrol ederek generatör uç geriliminin ve reaktif gücün belirlenen değerlerde sabit kalmasını sağlamaktır (Gozde ve Taplamacioglu, 2011). Bir güç sisteminde nominal gerilim seviyesinin sabitliğini ve kararlılığını sağlamak, güç sisteminin ana kontrol problemlerinden biridir çünkü bu güç şebekesine bağlı olan tüm cihazlar belirli bir gerilim seviyesi için tasarlanmıştır (Yegireddy ve Panda, 2014). Bu elaman, güç sistemi için kritik öneme sahip bir elamandır bu nedenle uç gerilimindeki değişim ne kadar küçük olursa olsun iyi algılamalı ve oransal kontrol yapısı ile bu değerle orantılı bir geri besleme işareti üretmelidir (Kundur, 1994). OGR, normal çalışma şartlarında çeşitli yük seviyelerinde generatörün sabit terminal gerilimini korumak için senkron generatör ile birlikte kullanılır (Kundur, 1994).

Uygulamada kullanılan pek çok kontrol yöntemi vardır (Erkol, 2017). Bunlardan en yaygın olarak bilinen ve kullanılan kontrol yöntemlerinin başında PID gelmektedir (Panda vd., 2004; Çoşkun ve Terzioğlu, 2007; Obika ve Yamamoto, 2005). PID parametrelerinin ayarlanmasında kullanılan klasik yöntem Ziegler-Nichols yöntemidir (Ziegler ve Nichols, 1993; Visioli, 2001; Tutkun ve Maden, 2010; Crnosija vd., 2006; Yun Li vd., 2006). Fakat bu

yöntemin, kullanılan kontrol sistemi için en büyük kazanç parametresinin belirlenmesi veya sabit osilasyon periyodunun bulunması gibi bazı zorlukları olduğundan PID parametrelerinin belirlenmesi için daha hızlı ve kolay yöntemler geliştirilmiştir (Montiel vd., 2007; Tutkun ve Maden, 2010). Son yıllarda PID Denetleyicinin optimal parametrelerini belirlemek amacıyla literatürde çeşitli yöntemler önerilmiştir (Shou-Rong Qi vd., y.y.; Rubaai ve Young, 2011). Bu yöntemler içerisinde gradyant tabanlı olarak bilinen klasik optimizasyon yöntemleri çoğunlukla yetersiz kalmaktadır (Akça, 2015). Bunun dışında birçok sezgisel (heuristic) yöntem kullanılmaktadır. Bu sınıftaki en yaygın yöntemler; Parçacık Sürüsü Optimizasyonu, Genetik Algoritma, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Diferansiyel Gelişim Algoritması'dır (Marler ve Arora, 2004; Akyol ve Alataş, 2012). Genetik algoritma (GA) ilk defa Holland (1975), Goldberg (1989) ve Michalewicz (1992)' in eserlerinde ortaya konulmuştur ve zamanla geliştirilerek farklı alanlarda başarıyla kullanılmaktadır (Keskintürk, 2006). Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA), Price ve Storn tarafından 1995 yılında geliştirilmiş olup, özellikle sürekli verilerin mevcut olduğu problemlerde verimli sonuçlar verebilen popülasyon temelli sezgisel optimizasyon yöntemidir (Mayer vd., 2005; Storn ve Price, 1995). Karınca Kolonisi Optimizasyonu ilk defa Dorigo ve arkadaşları tarafından yapılan, gerçek karınca koloni davranışlarının matematiksel modellerine dayanan bir algoritmadır (Dorigo vd., 1991). Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) 1995 yılında J. Kennedy ve R. C. Eberhart tarafından geliştirilen modern sezgisel algoritmalarından biridir (Kennedy ve Eberhart, 1995; Marini ve Walczak, 2015). Kuş sürülerinin davranışlarından esinlenerek oluşturulmuş bir algoritmadır (Coello Coello ve Reyes-Sierra, 2006). PSO tekniği, diğer stokastik yöntemlerden (Eberhart ve Shi, 1998; Yoshida vd., 2000) daha kısa hesap süresi ve istikrarlı yakınsama karakteristiği ile yüksek kaliteli bir çözüm üretebilir. PSO popülasyon tabanlı olasılıksal bir optimizasyon yöntemi olup çok parametrelili ve çok değişkenli optimizasyon

problemlerine çözümler üretmek için kullanılmaktadır (Alataş, 2007). Çoğu problemde olası çözümlerden yalnızca birini seçme zorunluluğu her zaman gerçekçi ve doğru olmaz (Joro vd., 1998). Dolayısı ile çok amaçlılığın söz konusu olduğu karar problemlerinde birden fazla amacın eşzamanlı gerçekleşmesinin düşünüldüğü optimizasyon yöntemi, çok amaç fonksiyonlu optimizasyon yöntemidir (Marler ve Arora, 2004).

Bir OGR sisteminde PID denetleyici parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi son derece önemlidir. OGR sisteminde tek bir amaca bağlı olarak gerçekleştirilen optimizasyonlarda sistemin birim basamak cevabının artışında maksimum verim yakalanamamaktadır. Dolayısı ile otomatik gerilim regülatörlerinin görevlerini verimli bir şekilde yapabilmeleri için birden fazla amaç gözetilerek optimizasyon yapılması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Böylece problem çok amaç fonksiyonlu optimizasyon problemine dönüşmektedir. Çok amaç fonksiyonlu optimizasyon (ÇAFO) problemleri'nde birden fazla amaç önem sırasına göre çözüme etki eder. Çözüm kümesi, mümkün olduğu kadar bütün amaçları karşılamaya yönelik oluşturulmuş çözümleri kapsar. Nihai amaç ise kullanıcının tercihi doğrultusunda çözüm kümesi içerisinde en optimum çözümün seçilip kullanılmasıdır (Akça, 2015). Birden fazla amacı karşılamak amacıyla ortaya çıkan ÇAFO problemi, bu çalışma kapsamında belirlenen en uygun skalarizasyon tekniği ile birden fazla tek amaç fonksiyonlu optimizasyon problemine indirgenmiş, indirgenen her bir problem ayrı ayrı eş zamanlı olarak çözülmüştür. Tek amaç fonksiyonlu optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bir çok yöntem ve algoritma vardır. Yapılan bu çalışmada optimizasyon yöntemi olarak, literatürde yaygın olarak kullanılan PSO algoritması kullanılmıştır. Bu çalışmada, bir otomatik gerilim regülatörü sisteminde optimal PID kazançlarının belirlenmesi için en iyi amaç fonksiyonu araştırılmıştır. Belirlenen polinomal amaç fonksiyonuna göre PID parametreleri olan  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ 'nin optimum değerleri elde edilmiştir. Elde

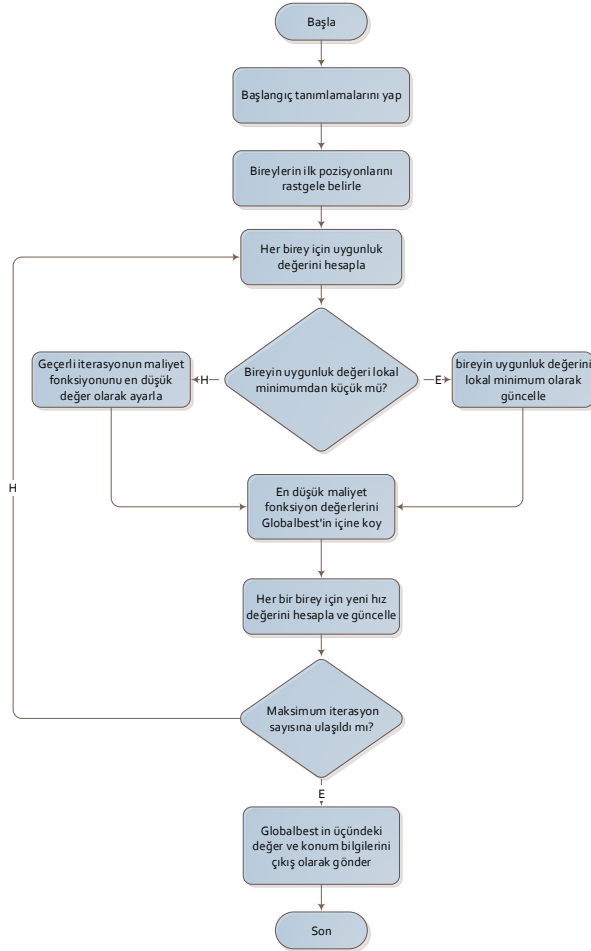
edilen bu parametreler OGR sisteminde kullanılarak ve zaman domain cevapları elde edilmiş ve parametrelerin doğrulanması yapılmıştır.

## Parçacık sürüsü optimizasyonu

Kennedy ve Eberhart tarafından tanımlanan PSO, modern sezgisel algoritmalarından biridir. Kuş sürülerinin davranışlarından esinlenerek oluşturulmuş sezgisel bir algoritmadır (Coello Coello ve Reyes-Sierra, 2006).

Kuşlar yiyecek ararken yiyeceğe en yakın kuşu takip ederler. Takip edilen kuş, Lider kuş olarak adlandırılır ve yiyeceğin aranması esnasında lider kuş değişebilir. Sürüde yiyeceği gören yeni kuş lider kuş olarak seçilir ve sürüdeki tüm kuşlar yeni lider kuşa yönelerek yiyecek arayışına devam ederler. Sürüdeki kuşlar lider kuşu belirlemek ve yiyeceğe yaklaşmak için kendi aralarında iletişim kurarlar. Sürüdeki her bir kuş parçacık olarak nitelendirilir ve her bir kuş bir çözümü ifade eder. Sürüdeki her bir kuşun o anki pozisyonu ise çözümü aranan fonksiyon için bir giriş olarak kabul edilir. Dolayısıyla kuş hareket ederken kuşun her bir pozisyonu fonksiyona iletilir ve o anki pozisyon için bir çözüm üretilir. Elde edilen çözüm değerlendirilir ve çözümün uygunluk değeri belirlenir. Uygunluk değeri sonuca ulaşıp ulaşılmadığının bir ölçüsüdür. Belirlenen kriterler doğrultusunda istenilen sonuç bulunmuşsa arama sona erer, istenilen sonuç bulunamamışsa kuşlar arama uzayında dolaşmaya devam ederler (Coello Coello ve Reyes-Sierra, 2006). PSO'nun genel bir blok diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.

PSO, sonuca hızlı bir şekilde ulaşması, yerel optimumlara takılma ihtimalinin az olması ve az sayıda parametre gerektirmesi nedenleriyle diğer çoğu arama algoritmasına karşı üstünlük kurmuştur (Ortakçı, Yasin; Göloğlu, 2012). PSO'da her bir parçacık rastgele konum ve hız değerleri ile aramaya başlatılır. Yinelenen her bir iterasyonda hız ve konum değerleri güncellenip uygunluk fonksiyonunda bir uygunluk değeri oluşturulur.



Şekil 1. PSO'nun genel yapısı

Ayrıca yinelenen her bir iterasyonda parçacıkların yerel optimum değeri ve sürünün global optimum değeri güncellenir. Belirli bir iterasyon sonunda sürünün optimum değeri PSO'nun probleme sunduğu çözüm olur (Ortakçı, 2011).

## Çok amaç fonksiyonlu optimizasyon

ÇAFO, birden fazla amacın eşzamanlı gerçekleşmesinin düşünüldüğü bir optimizasyon yöntemidir. Çoğu problemde olası çözümlerden yalnızca birini seçme zorunluluğu her zaman gerçekçi ve doğru olmaz (Joro vd., 1998). Çoğu karar probleminde çok amaçlılık söz konusudur. Her bir amaç için optimum olan çözüm diğer bir amaç için de optimum olmayabilir. ÇAFO'nun tek amaç fonksiyonlu optimizasyona tercih edilmesinin nedeni de bu amaç fonksiyonlarının optimum çözümlerinin birbirinden farklı olmasıdır. ÇAFO problemlerinin çözümüne

yönelik birçok yaklaşım vardır. En temel yaklaşım "Skalarizasyon", diğer bir ifade ile "bir araya getirme" yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, tek bir amaç elde etmek için tüm amaçların bir araya getirilmesi ilkesine dayanır (Marler ve Arora, 2005). Böylelikle ÇAFO'da amaçlar tek bir amaca indirgenerek çözülür. En yaygın olarak bilinen skalarizasyon tekniği "Ağırlıklı Toplam" tekniğidir (Koski ve Silvennoinen, 1987; Saramago ve Steffen Jr., 1998; Marler ve Arora, 2010).

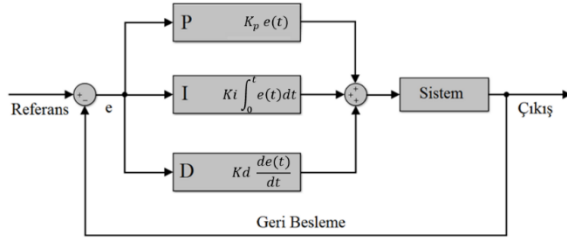
ÇAFO problemi'nin çözümünden "tercihe dayalı" sonuçlar elde edilmektedir (Trautmann ve Mehnen, 2009). Skalarizasyon tekniği ile amaçlar tek bir amaca indirgenir ve bunun sonunda tek bir sonuç ortaya çıkar. Ağırlıklı toplam tekniğinde kullanılan her bir parametrenin 0 ve 1 arasında değişen bir ağırlık değeri vardır. En iyi sonucun elde edilmesi için kullanılan parametrelerin ağırlık değerleri değiştirilir ve problem yeniden çözülür. Optimizasyon problemi ağırlıklı toplam tekniği ile Denklem(1)'deki gibi modellenir.

$$m = \text{Min} \sum_{i=1}^k w_i f_i(x), \quad 1 \geq w_i \geq 0 \quad (1)$$

ÇAFO problemleri'nde amaç, tercihe dayalı bir sonuç kümesi elde etmektir. Denklem(1) kullanılarak Ağırlıklı Toplam tekniği ile bir çözüm kümesi oluşturulur ve ağırlık değerleri 0 ile 1 arasında sistematik bir şekilde değiştirilerek her bir ağırlık değeri için yeni bir sonuç bulunur (Akça, 2015).

## PID Denetleyici

PID endüstride yaygın olarak kullanılan geri beslemeli bir kontrol yöntemidir. Modern kontrol yöntemlerindeki gelişmelere rağmen PID Denetleyiciler, basit ve kararlı bir yapıda olmaları sebebiyle endüstriyel uygulamalarda çokça kullanılmaktadır. Denetleyicinin ve sistemin genel yapısı Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. PID Denetleyicinin genel yapısı

PID Kontrol Yöntemi oransal, türevsel ve integral yöntemlerin birleşmesiyle oluşur. PID denetleyici 3-modlu denetleyici olarak da bilinir. PID Kontrol Yöntemi bir veya iki kontrol yönteminin hatayı kabul edilebilir limitler içerisinde tutamadığı hızlı ve büyük yük değişimlerinin olduğu işlemlerde kullanılmaktadır. Kontrol edilecek sistemin çıkışı ile PID denetleyicinin girişi olan referans değerinin farkı hata ( $e$ ) olarak hesaplanır. Hata değeri  $K_p$  parametresiyle, hatanın türevi  $K_d$  parametresiyle, hatanın integrali  $K_i$  parametresiyle çarpılarak elde edilen değerlerin toplamı sisteme giriş olarak uygulanır. Sistemin çıkışı tekrar referans değer ile karşılaştırılarak yeni bir hata değeri hesaplanır ve denetleyicinin üreteceği yeni çıkış sisteme giriş olarak uygulanır. Bu işlemler hata sıfır olana kadar tekrarlanmaktadır. Denetleyicinin  $K_p$ ,  $K_d$  ve  $K_i$  parametreleri sisteme özeldir ve bu parametreleri belirlemek için birçok yöntem vardır. Kullanılan en yaygın yöntem ZieglerNichols yöntemidir (Ziegler ve Nichols, 1993). PID denetleyicinin transfer fonksiyonu ise Denklem(2)'de gösterilmektedir.

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \cdot s \quad (2)$$

PID denetleyici ile sistemin uygun şekilde kontrol edilebilmesi, denetleyici parametreleri olan  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  değerlerinin doğru belirlenmesi ile mümkündür (Erkol, 2017).

### PID Denetleyici parametrelerinin belirlenmesi

PSO gibi optimizasyon algoritmaları belirlenen optimizasyon problemini minimize etmek için gereken parametreleri bulurlar. Bu nedenle PID parametrelerinin optimizasyonu için bir

fonksiyon tanımlamak gerekir. Tanımlanan bu fonksiyona “amaç fonksiyonu” denir. PID algoritmaların optimizasyonu için literatürde mutlak hatanın toplamı (Integral Absolute Error (IAE)), hata karelerinin toplamı (Integral Squared Error (ISE)), zaman ağırlıklı hata karelerinin toplamı (Integral Time-weighted Squared Error (ITSE)), zaman ağırlıklı mutlak hatanın toplamı (Integral Time-weighted Absolute Error (ITAE)) gibi fonksiyonlar önerilmiştir(Campo, 2012). Bu fonksiyonlar, zaman ile meydana gelen hatanın büyüklüğünü vermektedir ve optimizasyon probleminde bu fonksiyonun minimize edilmesi, PID parametrelerinin en az hatayı verecek şekilde ayarlanması demektir(Maiti vd., 2008). ISE, IAE, ITSE ve ITAE fonksiyonları Denklem(3), Denklem(4), Denklem(5) ve Denklem(6) da belirtildiği gibidir.

$$f(ISE) = \int_0^T e^2(t) dt \quad (3)$$

$$f(IAE) = \int_0^T |e(t)| dt \quad (4)$$

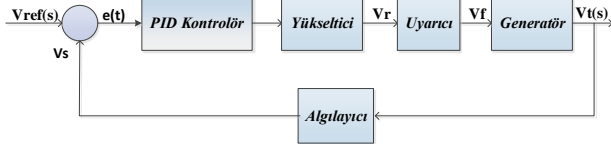
$$f(ITSE) = \int_0^T t \cdot e^2(t) dt \quad (5)$$

$$f(ITAE) = \int_0^T t |e(t)| dt \quad (6)$$

### Otomatik gerilim regülatörü (OGR) sistemi

Güç sistemlerinde enerji akışı üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine doğrudur. Bu enerji akışı, sistem kararlılığı açısından talep üzerine sürekli olarak sağlanmalıdır (Taylor, 1982; Kundur, 1994). Sistem frekansı ve sistem gerilimi istenilen değerlerde tutulamadığı takdirde güç sistemi bloke olabilir. Bu durum bir güç sistemi için en trajik durumlardan biridir. Bir güç sisteminde sistem geriliminin sabit bir değerde olması çok büyük önem taşır (Van Cutsem ve Vournas, 2008). Dolayısı ile güç sisteminde gerilim düşüşlerinin engellenmesi gerekir. OGR, generatör çıkış gerilimini nominal bir sabit gerilim düzeyinde tutmak üzere tasarlanmıştır. OGR'ler generatör terminal gerilimini alan akımı ile düzenler ve bunun sonucunda çıkış gerilimini korurlar. OGR sistemi terminal gerilimini istenen değere getiren kapalı bir döngü kontrol sistemidir (Yegireddy ve Panda, 2014).

Basit bir otomatik gerilim regülatörü; yükseltici, uyarıcı, generatör ve algılayıcıdan oluşur. OGR sisteminin dinamik tepkisini iyileştirmek ve terminal gerilimini 1.0 pu'da tutmak için sisteme bir PID denetleyici dahil edilir (Yegireddy ve Panda, 2014). PID Denetleyicili OGR'nin blok diyagramı Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. PID Denetleyicili OGR sistemin blok diyagramı

#### a) Yükseltici

Bir yükselticinin transfer fonksiyonu Denklem (7)'de verilen bir kazanç ve bir zaman sabiti ile oluşturulur. Burada  $K_a$  yükselticinin kazancı ve  $T_a$  yükselticinin zaman sabitidir.

$$TFa = \frac{K_a}{1+sT_a} \quad (7)$$

$K_a$ 'nın olağan değerleri 10-40 aralığındadır. Yükselticinin zaman sabiti  $T_a$  ise 0.02 ile 0.1 s aralığındadır.

#### b) Uyarıcı

Bir uyarıcının transfer fonksiyonu Denklem (8)'de verilen bir kazanç ve bir zaman sabiti ile oluşturulur. Burada  $K_e$  uyarıcının kazancı ve  $T_e$  uyarıcının zaman sabitidir.

$$TFe = \frac{K_e}{1+sT_e} \quad (8)$$

$K_e$ 'nin tipik değerleri 1-10 aralığındadır ve  $T_e$  zaman sabiti 0.4-1.0s aralığı içindedir.

#### c) Generatör

Bir generatörün transfer fonksiyonu Denklem(9)'da verilmiştir.

$$TFg = \frac{K_g}{1+sT_g} \quad (9)$$

Generatör kazancı  $K_g$  ve zaman sabiti  $T_g$  yüke bağlıdır.  $K_g$ , 0.7 ile 1.0 arasında ve  $T_g$ , 1.0 ile 2.0s arasında tam yükten yüksüze değişir.

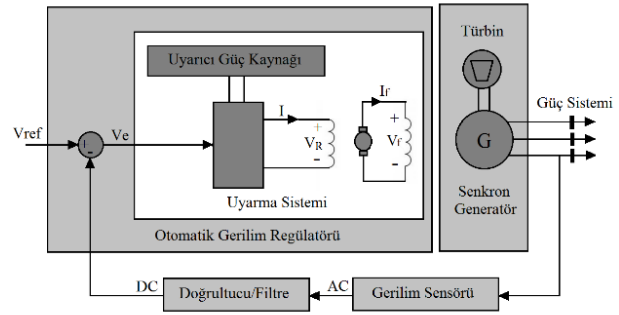
#### d) Algılayıcı

Bir algılayıcının transfer fonksiyonu Denklem(10)'da verilmiştir.

$$TFs = \frac{K_s}{1+sT_s} \quad (10)$$

Normal olarak  $T_s$ , 0.001 ila 0.06s arasındadır ve  $K_s$ , yaklaşık 1.0'dır.

Şekil 4'te bir OGR sistemin şematik diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 4. OGR Sistemin şematik diyagramı (Özdemir ve Çelik, 2017)

Şekil 4'te verilen OGR sistemin şematik diyagramı göz önüne alındığında, generatörün çıkış gerilimindeki herhangi bir değişim terminal gerilimini değiştirir. Gerilim sensörü ile ölçülen gerilim değeri OGR'ye gönderilir. OGR, generatörün terminal gerilimini istenilen gerilim değerinde tutmak için uyarma sisteminin terminal gerilimini değiştirir. Böylece generatörün alan akımı değiştirilmiş olur. Ayrıca bu durum üretilen EMF'yi de değiştirir. Generatörün güç üretimi yeni denge noktasına ayarlanır ve terminal gerilimi istenilen değerde tutulur (Dembicki ve Chi, 1989).

### Optimum çok amaç fonksiyonunun elde edilmesi

Bu çalışmada bir OGR sistem için PID parametreleri PSO algoritması ve ÇAFO yöntemi ile belirlenmiştir. OGR sistem ve PID denetleyici Matlab/Simulink ortamında modellenmiş ve sistemin benzetimi gerçekleştirilmiştir. PID parametreleri olan  $K_p$ ,

$K_i$  ve  $K_d$  değerleri öncelikli olarak ISE, IAE, ITSE ve ITAE amaç fonksiyonları kullanılarak PSO ile elde edilmiş olup, bu değerler ile OGR sistemin birim basamak cevabı incelenmiştir. OGR sistemde ISE, IAE, ITSE ve ITAE amaç fonksiyonlu PSO ile elde edilen parametreler kullanıldığında sistemin birim basamak cevabındaki artışın, maksimum aşma( $M_p$ ), yerleşme zamanı( $t_s$ ), yükselme zamanı( $t_r$ ) ve salınım sayısı( $n$ ) açısından yetersiz olduğu görülmüş ve  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  parametreleri ÇAFO ile yeniden elde edilmiştir.  $M_p$ ,  $t_s$ ,  $t_r$ ,  $n$ , minimum yerleşme(ms) ve hata fonksiyonları(e) birer amaç fonksiyonu olarak seçilmiş ve problem ÇAFO ile tek bir amaç fonksiyonuna indirgenerek çözülmüştür. Önerilen maliyet fonksiyonu Denklem(11)'de ifade edilmiştir.

$$f(K)min = (10.e) + (0,1.n) + (10.ts) + (5.tr) + (20.(1 - ms) + (1.((10^{Mp-1}) - 1))) \quad (11)$$

$$f(K)min = (a.e) + (b.n) + (c.ts) + (d.tr) + (f.(1 - ms) + (g.((10^{Mp-1}) - 1))) \quad (12)$$

$$a + b + c + d + f + g = 1 \quad (13)$$

Denklem(12)'deki a, b, c, d, f ve g katsayıları ağırlık değerleridir ve 0 ile 1 arasında değişebilir. Bu ağırlık değerleri değiştirilerek yeni bir tek amaç fonksiyonlu optimizasyon problemi elde edilir. Bu çalışma kapsamında belirlenen maliyet fonksiyonundaki ağırlık değerleri aşağıdaki gibidir.

$$a=0.2169197397; \quad b=0.0021691974$$

$$c=0.2169197397; \quad d=0.1084598698 \\ f=0.4338394793; \quad g=0.0216919739$$

Sistemin birim basamak cevabının sürekli duruma geçtiği durum, sistem geriliminin  $\pm\%5$ 'lik değerler arasında kaldığı durum olarak kabul edilmiştir. Salınım sayısı( $n$ )'nın, bir Matlab yazılımı yardımıyla birim basamak cevabının sürekli duruma geçtiği ana kadar sayılması sağlanmıştır. Böylece sistemin birim basamak cevabının yerleşmesinden sonraki salınımlar sayılmamıştır. Denklem(12)'deki maliyet fonksiyonuna göre elde edilen PID parametreleri ile OGR sistemin birim basamak cevabı incelenmiş ve önerilen ÇAFO yaklaşımının OGR sisteminin birim basamak cevabını arttırmada ISE, IAE, ITSE ve ITAE amaç fonksiyonlu PSO'ya göre daha verimli olduğu görülmüştür.

## Benzetim sonuçları

OGR sistem ilk olarak ISE, IAE, ITSE ve ITAE amaç fonksiyonları kullanılarak PSO ile optimize edilmiştir. Sistem ayrıca farklı optimizasyon yöntemleri ile de optimize edilerek, maksimum aşma, yerleşme zamanı ve yükselme zamanı açısından sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre önerilen ÇAFO yöntemi ve bazı optimizasyon yöntemleri ile elde edilen PID parametre değerleri Tablo 1'de, elde edilen veriler ise Tablo 2'de gösterilmektedir. Farklı optimizasyon yöntemleri ile optimize edilen OGR sistemin birim basamak cevabı Şekil 5'te verilmiştir.

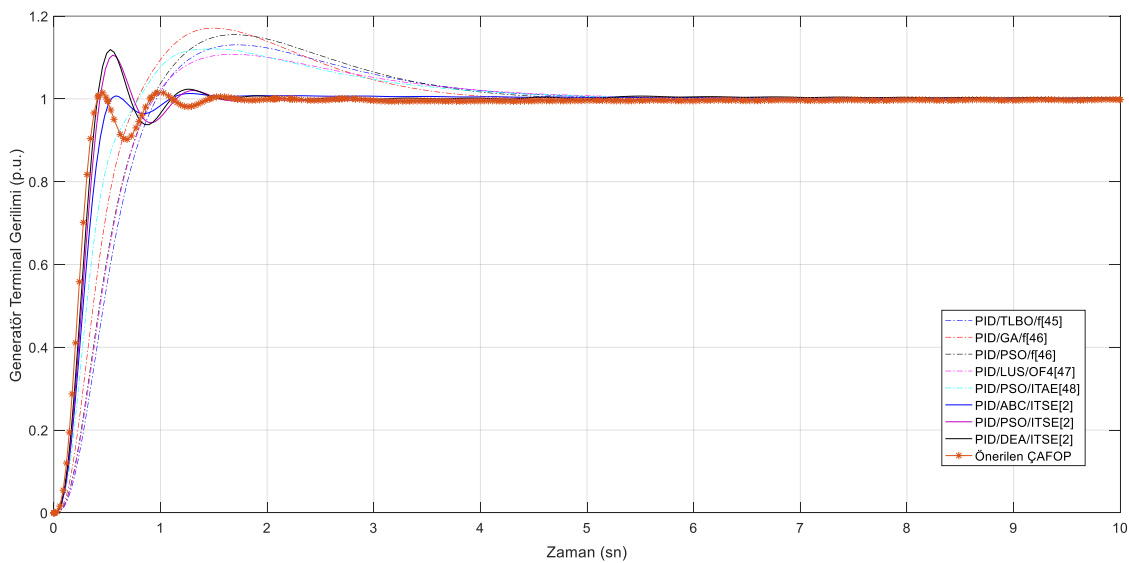
Tablo 1. Önerilen ÇAFO ile bazı optimizasyon yöntemleri ile elde edilen PID parametre değerleri

	$K_p$	$K_i$	$K_d$
PID/TLBO(Chatterjee ve Mukherjee, 2016)	0.5302	0.4001	0.1787
PID/GA/f(Gaing, 2004)	0.8861	0.7984	0.3158
PID/PSO/f(Gaing, 2004)	0.6568	0.5393	0.2458
PID/LUS/OF4(Mohanty vd., 2014)	0.6190	0.4222	0.2058
PID/PSO/ITAE(Panda vd., 2012)	1.3541	0.9266	0.4378
PID/ABC/ITSE(Gozde ve Taplamacioglu, 2011)	1.6524	0.4083	0.3654
PID/PSO/ITSE(Gozde ve Taplamacioglu, 2011)	1.7774	0.3827	0.3184
PID/DEA/ITSE(Gozde ve Taplamacioglu, 2011)	1.9499	0.4430	0.3427
Önerilen ÇAFO	<b>2.6148</b>	<b>0.3552</b>	<b>0.5244</b>



Tablo 2. Önerilen ÇAFO ile bazı optimizasyon yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırılmasına yönelik elde edilen veriler

	MP(p.u.)	TR(s)	TS(s)	FOD	ISE	IAE	ITSE	ITAE	ÇAFO
PID/TLBO(Chatterjee ve Mukherjee, 2016)	1.1306	0.5965	4.0102	1.3384	0.3917	0.7456	0.1287	0.7439	64.7195
PID/GA/f(Gaing, 2004)	1.1709	0.4753	3.5078	1.2236	0.3307	0.6827	0.1128	0.7073	60.1946
PID/PSO/f(Gaing, 2004)	1.1551	0.5681	3.8851	1.3183	0.3716	0.7425	0.1320	0.7637	64.6690
PID/LUS/OF4(Mohanty vd., 2014)	1.1076	0.5679	4.0387	1.3449	0.3629	0.6895	0.1061	0.6883	64.0010
PID/PSO/ITAE(Panda vd., 2012)	1.1205	0.4308	3.8835	1.3464	0.2715	0.5853	0.0748	0.6253	61.1997
PID/ABC/ITSE(Gozde ve Taplamacioglu, 2011)	1.0130	0.3015	0.9796	0.2577	0.2246	0.3330	0.0299	0.1976	24.7442
PID/PSO/ITSE(Gozde ve Taplamacioglu, 2011)	1.1056	0.2601	1.3198	0.4566	0.2160	0.3247	0.0279	0.1491	29.4631
PID/DEA/ITSE(Gozde ve Taplamacioglu, 2011)	1.1191	0.2457	1.3367	0.4766	0.2085	0.3247	0.0265	0.2157	30.4536
Önerilen ÇAFO	<b>1.0155</b>	<b>0.2328</b>	<b>0.8589</b>	<b>0.2401</b>	<b>0.1882</b>	<b>0.2951</b>	<b>0.0217</b>	<b>0.2177</b>	23.5501



Şekil 5. Farklı optimizasyon yöntemleri ile optimize edilen OGR sistemin birim basamak cevabı

FOD(Figure of Demerit)(Chatterjee ve Mukherjee, 2016) fonksiyonu Denklem (14)'te verilmiştir.

$$FOD = (1 - e^{-\beta})(Mp + Ess) + e^{-\beta}(Ts - Tr) \quad (14)$$

Önerilen ÇAFO ile en iyi yerleşme zamanı değeri, en iyi yükselme zamanı değeri, ikinci en iyi maksimum aşma değeri ve en düşük maliyet değeri elde edilmiştir. Önerilen ÇAFO ile elde edilen veriler, FOD fonksiyonunda da diğer yöntemlere kıyasla en düşük maliyet değerini vermektedir. ÇAFO fonksiyonu, diğer yöntemlerle elde edilen verilerle oluşturulduğunda en düşük maliyet değeri yine ÇAFO ile elde edilmiştir. Sonuç olarak, elde

edilen veriler incelendiğinde önerilen ÇAFO yönteminin diğer yöntemlere göre birçok açıdan daha üstün olduğu gösterilmiştir.

## Sonuç

Bu çalışmada çok amaç fonksiyonlu optimizasyon(ÇAFO) kullanılarak PID denetleyici parametrelerinin belirlenmesine yönelik bir yöntem sunulmuştur. Yöntemde maliyet fonksiyonundaki giriş değerlerine karşılık çıkış performansı ağırlık değerlerine bağlı olarak incelenmiş ve optimum çözüme ulaşılmıştır. Problemden Mp, ts, tr, salınım sayısı, minimum yerleşme ve hata (e) fonksiyonları birer amaç fonksiyonu olarak seçilmiş ve bu amaç fonksiyonları ayrı ayrı eş zamanlı olarak

çözümüştür. Bu amaç fonksiyonlarına göre birden fazla en iyi çözüm elde edilmiştir. Elde edilen en iyi çözümler ile ÇAFO için yukarıda belirtilen parametrelerin sistem performansına göre korelasyon değeri belirlenerek tek bir en iyi çözüm bulunmuştur. Bulunan en iyi çözüm tercihe dayalı bir çözümdür, maliyet fonksiyonundaki ağırlık faktörlerine bağlı olarak değişebilir. ÇAFO ile elde edilen PID parametreleri olan  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  değerleri OGR sisteme uygulanıp, sistemin zaman domain benzetimi yapılmıştır. Ayrıca aynı sistem ISE, IAE, ITSE ve ITAE kullanılarak PSO ve birçok yöntem ile optimize edilmiştir. Benzetim sonuçları ÇAFO yöntemiyle maksimum aşmanın, yerleşme zamanının ve yükselme zamanının birçok yönetime göre çok daha düşük olduğunu ve dolayısı ile OGR sistemde kullanılan ÇAFO yönteminin diğer birçok yönetime göre birim basamak cevabını arttırmada daha verimli olduğunu göstermektedir.

## Kaynaklar

- Akça, E. (2015). *Genel Atama Problemlerinin Grafik İşlemci Birimlerinin Üzerinde Çözümü*. Ankara Üniversitesi.
- Akyol, S., Alataş, B. (2012). Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları. *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1, 36–50.
- Alataş, B. (2007). *Kaotik Haritalı Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmaları Geliştirme*. Fırat Üniversitesi.
- Campo, A.B. (2012). PID Control Design. İçinde *MATLAB - A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications - Volume 1*. InTech.
- Chatterjee, S., Mukherjee, V. (2016). PID controller for automatic voltage regulator using teaching-learning based optimization technique. *International Journal of Electrical Power ve Energy Systems*, 77, 418–429.
- Coello Coello, C.A., Reyes-Sierra, M. (2006). Multi-Objective Particle Swarm Optimizers: A Survey of the State-of-the-Art. *International Journal of Computational Intelligence Research*, 2.
- Coşkun, İ., Terzioğlu, H. (2007). Hız Performans Eğrisi Kullanılarak Kazanç (Pıd) Parametrelerinin Belirlenmesi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 6, 180–205.
- Crnosija, P., Krishnan, R., Bjazic, T. (2006). Optimization of PM Brushless DC Motor Drive Speed Controller Using Modification of Ziegler-Nichols Methods Based on Bodé Plots. İçinde *2006 12th International Power Electronics and Motion Control Conference*. (ss. 343–348). IEEE.
- Van Cutsem, T., Vournas, C. (2008). *Voltage stability of electric power systems*,
- Dembicki, E., Chi, T. (1989). System analysis in calculation of cantilever retaining walls. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 13, 599–610. Available at: <http://www.loc.gov/catdir/description/mh022/93039219.html>.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., Colomi, a (1991). The ant system: An autocatalytic optimizing process. *TR91-016, Politecnico di Milano*, 1–21. Available at: [http://lis.nsysu.edu.tw/exam/doctor/mana/info\\_m/infom\\_93.pdf](http://lis.nsysu.edu.tw/exam/doctor/mana/info_m/infom_93.pdf).
- Eberhart, R.C., Shi, Y. (1998). Comparison between genetic algorithms and particle swarm optimization. İçinde *Evolutionary Programming VII*. (ss. 611–616).
- Erkol, H.O. (2017). GA ve PSO ile Kontrol Parametrelerinin Optimizasyonu. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7, 179–185.
- Gaing, Z.L. (2004). A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in AVR System. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19, 384–391. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1300705>.
- Gozde, H., Taplamacioglu, M.C. (2011). Comparative performance analysis of artificial bee colony algorithm for automatic voltage regulator (AVR) system. *Journal of the Franklin Institute*, 348, 1927–1946.
- Joro, T., Korhonen, P., Wallenius, J. (1998). Structural comparison of data envelopment analysis and multiple objective linear programming. *Management Science*, 44, 962–970.
- Kennedy, J., Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on*, 4, 1942–1948 c.4.
- Keskintürk, T. (2006). Diferansiyel gelişim algoritması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5, 85–99.

- Koski, J., Silvennoinen, R. (1987). Norm methods and partial weighting in multicriterion optimization of structures. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 24, 1101–1121.
- Kundur, P. (1994). Power system stability and control. *McGraw-Hill*, 45–138.
- Maiti, D., Acharya, A., Chakraborty, M., vd. (2008). Tuning PID and Fractional PID Controllers using the Integral Time Absolute Error Criterion. İçinde *Proceedings of the 2008 4th International Conference on Information and Automation for Sustainability, ICIAFS 2008*. (ss. 457–462).
- Marini, F., Walczak, B. (2015). Particle swarm optimization (PSO). A tutorial. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 149, 153–165.
- Marler, R.T., Arora, J.S. (2005). Function-transformation methods for multi-objective optimization. *Engineering Optimization*, 37, 551–570.
- Marler, R.T., Arora, J.S. (2004). Survey of multi-objective optimization methods for engineering. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 26, 369–395.
- Marler, R.T., Arora, J.S. (2010). The weighted sum method for multi-objective optimization: New insights. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 41, 853–862.
- Mayer, D.G., Kinghorn, B.P., Archer, A.A. (2005). Differential evolution – an easy and efficient evolutionary algorithm for model optimisation. *Agricultural Systems*, 83, 315–328.
- Mohanty, P.K., Sahu, B.K., Panda, S. (2014). Tuning and Assessment of Proportional–Integral–Derivative Controller for an Automatic Voltage Regulator System Employing Local Unimodal Sampling Algorithm. *Electric Power Components and Systems*, 42, 959–969.
- Montiel, O., Sepulveda, R., Melin, P., vd. (2007). Performance of a Simple Tuned Fuzzy Controller and a PID Controller on a DC Motor. İçinde *2007 IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence*. (ss. 531–537). IEEE.
- Obika, M., Yamamoto, T. An evolutionary design of robust PID controllers. İçinde *IEEE International Conference Mechatronics and Automation, 2005*. (ss. 101–106). IEEE.
- Ortakçı, Yasin; Göloğlu, C. (2012). Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Küme Sayısının Belirlenmesi.
- Ortakçı, Y. (2011). *Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemlerinin Uygulamalarla Karşılaştırılması*. Karabük Üniversitesi.
- Özdemir, M.T., Çelik, V. (2017). PI Kontrolörlü Otomatik Gerilim Regülasyon Sisteminin Kararlılık Analizi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21, 1–1. Available at: <http://dergipark.gov.tr/doi/10.16984/saufenbild.270251> [Erişim Temmuz 13, 2017].
- Özdemir, M.T., Öztürk, D., Eke, İ., vd. (2015). Tuning of Optimal Classical and Fractional Order PID Parameters for Automatic Generation Control Based on the Bacterial Swarm Optimization. İçinde *IFAC-PapersOnLine*. (ss. 501–506).
- Panda, R.C., Yu, C., Huang, H. (2004). PID tuning rules for SOPDT systems: review and some new results. *ISA transactions*, 43, 283–295.
- Panda, S., Sahu, B.K., Mohanty, P.K. (2012). Design and performance analysis of PID controller for an automatic voltage regulator system using simplified particle swarm optimization. *Journal of the Franklin Institute*, 349, 2609–2625.
- Rubaii, A., Young, P. (2011). EKF-Based PI/PD-Like Fuzzy-Neural-Network Controller for Brushless Drives. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 47, 2391–2401.
- Saramago, S.F.P., Steffen Jr., V. (1998). Optimization of the Trajectory Planning of Robot Manipulators Taking Into Account the Dynamics of the System. *Mechanism and Machine Theory*, 33, 883–894.
- Shou-Rong Qi, Dong-Feng Wang, Pu Han, vd. Grey prediction based RBF neural network self-tuning PID control for turning process. İçinde *Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (IEEE Cat. No.04EX826)*. (ss. 802–805). IEEE.
- Storn, R., Price, K. (1995). Differential Evolution - A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces. *Technical report, International Computer Science Institute*, 1–15.
- Taylor, C. (1982). Power System Voltage Stability. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-101.
- Trautmann, H., Mehnen, J. (2009). Preference-based Pareto optimization in certain and noisy environments. *Engineering Optimization*, 41, 23–38.

- Tutkun, N., Maden, D. (2010). Determination of the PID controller parameters for a DC shunt motor using the genetic algorithm method. İçinde *2010 National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering, ELECO 2010*.
- Visioli, A. (2001). Tuning of PID controllers with fuzzy logic. *IEE Proceedings - Control Theory and Applications*, 148, 1–8.
- Yegireddy, N.K., Panda, S. (2014). Design and performance analysis of PID controller for an AVR system using multi-objective non-dominated shorting genetic algorithm-II. İçinde *2014 International Conference on Smart Electric Grid (ISEG)*. (ss. 1–7). IEEE.
- Yoshida, H., Kawata, K., Fukuyama, Y., vd. (2000). A Particle swarm optimization for reactive power and voltage control considering voltage security assessment. *IEEE Transactions on Power Systems*, 15, 1232–1239.
- Yun Li, Kiam Heong Ang, Chong, G.C.Y. (2006). PID control system analysis and design. *IEEE Control Systems Magazine*, 26, 32–41.
- Ziegler, J.G., Nichols, N.B. (1993). Optimum Settings for Automatic Controllers. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 115, 220.

## Determination of Multi-objective optimization for Optimum Automatic Voltage Regulation in Power Systems

### Extended Abstract

In electrical power systems, system voltage is one of the most important parameters effecting the power quality and has a critical importance. Voltage control in power systems is done by automatic voltage regulator (AVR). The main task of the AVR is to control the excitation current when the load changes, so that the generator terminal voltage will be constant at the specified values. Providing the stability of the nominal voltage level in a power system is one of the main control problems of the power system because all devices connected to this power network are designed for a certain voltage level. AVR is a critical element for the power system. Therefore, no matter how small the change in the terminal voltage is, it should detect these changes well and produce a feedback signal proportional to this value using its proportional control structure. There are many control methods used in application. One of the most widely known and used control methods is the PID. The proper control of the system with the PID controller is possible by correct identification of the controller parameters  $K_p$ ,  $K_i$  and  $K_d$ . Therefore, it is very important to correctly determine the PID controller parameters in an AVR system. There are many methods used to determine PID controller parameters. Heuristic optimization methods are frequently used in determining PID parameters. One of the best ways to specify these parameters is to use optimization techniques. The objective functions used in these techniques are generally ITSE, ITAE, ISE and IAE. However, the objective function should change according to the system, problem and constraint features. It is necessary for the optimization to be done by considering multiple objectives. Within a limited time, obtaining the best objective function by considering more than one objective for automatic voltage regulators bring about a multi objective functional optimization (MOO) problem. In MOO, Multi-objective affect the solution according to the order of importance. The solution set includes other solutions that can meet all the objectives as much as possible. The ultimate objective is to select and use the most optimal solution from the solution set according to the user preference. In this paper, it is aimed to find the best objective function for

determining the optimal PID gains in an AVR system and it is suggested to use it in AVR problems. In the paper, the multi objective fitness function was reduced to more than one single-objective function optimization problem by the scalarization technique, and each reduced problem was solved simultaneously and separately. In order to give the comparable effect of the study, PSO, a well-known method in literature, was used.

In the proposed technique, the output performance which was obtained according to the input values in the cost function was examined depending on the weight values, and the optimum solution was obtained.  $M_p$ ,  $t_s$ ,  $t_r$ , number of oscillations ( $n$ ), minimum settling (ms) and error ( $e$ ) functions were chosen as objective functions and these functions were solved simultaneously and separately. According to these objective functions, more than one best solution was achieved. The best solution was found by the correlation value which was specified according to the system performance and calculated with the help of the best-obtained solutions and the MOO parameters mentioned above.

Controller gains were obtained by PSO which was run according to the proposed objective function. The time domain simulation of the gain values achieved by the proposed technique and obtained from the literature studies on the same system was carried out. The unit step response of the AVR system was compared in terms of maximum overshoot, settling time and rise time. According to the obtained data, the best settling time value, the best rise time value, the second best maximum overshoot value and the lowest cost value were obtained with the proposed MOO. As compared to other methods the data obtained with the proposed MOO also gives the lowest cost value in figure of demerit (FOD) function. When MOO function was constructed with the data achieved by other methods, the lowest cost value was obtained with MOO. As a result, when the obtained data are examined, it is seen that the proposed method is superior to other methods in many respects.

**Keywords:** Automatic Voltage Regulator; Multi-objective Optimization; Particle Swarm Optimization



# Motor Nöron Yetilerini Kaybetmiş Bireylerin İletişimi için SSVEP Tabanlı Beyin Bilgisayar Arayüzü Geliştirilmesi

**Mehmet KARAKÖSE**

Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ  
[mkarakose@firat.edu.tr](mailto:mkarakose@firat.edu.tr) ORCID: 0000-0002-3276-3788

**Hasan YETİŞ\***

Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ  
[h.yetis@firat.edu.tr](mailto:h.yetis@firat.edu.tr) ORCID: 0000-0001-7608-3293, Tel: (424) 237 00 00 (6336)

**Ayşe Beyza GÖKBULUT**

Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ  
[mgokbulutb@gmail.com](mailto:mgokbulutb@gmail.com) ORCID: 0000-0002-5616-8270

**İlhan AYDIN**

Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ  
[iaydin@firat.edu.tr](mailto:iaydin@firat.edu.tr) ORCID: 0000-0001-6880-4935

Geliş: 07.03.2018, Kabul Tarihi: 06.06.2018

## Öz

Sosyal bir varlık olan insan, yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek için çevresiyle etkileşim ve iletişim halindedir. Motor nöronlarını harekete geçirme kabiliyetini yitirmiş olan hastalar, çevrelerinde olan biteni algılamakta ancak tepki verememektedirler. Bu durum çevre ile iletişimlerini tamamen koparmaktadır. Bu çalışmada motor nöronları harekete geçirme kabiliyetini yitirmiş hastaların çevreleriyle iletişimde olabilmeleri için SSVEP (Kararlı Durum Görsel Uyarılar) tabanlı bir beyin bilgisayar arayüzü tasarlanmıştır. Geliştirilen arayüzde 4 farklı frekansta dama desenli görsel uyarılar oluşturularak beyin sinyallerindeki değişim belirginleştirilmiştir. Tasarlanan sistemde görsel uyarılara odaklanan bireylerden Emotiv Epc+ cihazı yardımıyla beyin sinyalleri kaydedilmiştir. Kaydedilen sinyaller ön işlemlerden geçirilerek gürültülerden arındırılmıştır. Daha sonra öznitelik çıkarımı ile anlamlı bilgilere ayrıştırılmış ve daha sonra önceden oluşturulmuş referans veri tabanındaki kayıtlara olan benzerliği Kanonik Korelasyon Analizi ile tespit edilmiştir. Sınıflandırılan beyin sinyalleri komut haline getirilmekte ve heceleme sistemine bildirilmektedir. Alınan sinyaller ile yapılan ön işleme, öznitelik çıkarımı ve sınıflandırma adımları sonucunda kullanıcının dış ortama aktarmak istediği kelimenin harflerine sırayla odaklanması, odaklandığı harfi ekrana yazdırması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kas sistemini kullanmadan oluşturulan arayüze komut verilmesini sağlayan bir heceleme sistemi oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Beyin Bilgisayar Arayüzü; BBA; EEG; SSVEP;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.403130

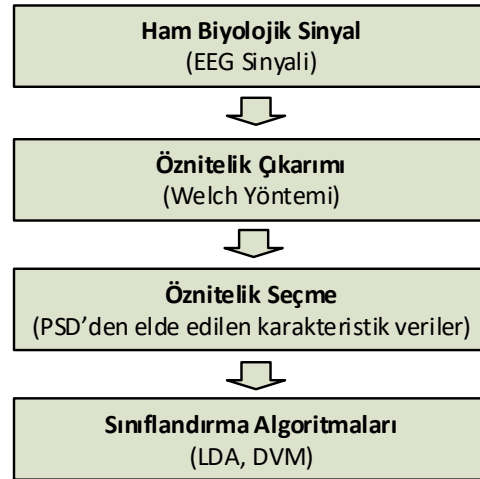
## Giriş

İnsan sosyal bir varlıktır ve çevresi ile sürekli iletişim halindedir. Motor sinir yollarının hasar görmesine sebep olan bazı hastalıklar ve kazalar bireylerin iletişim yeteneklerini kaybetmelerine sebep olabilir. Beyin kökü travması, beyin ve omurilik yaralanmaları, ALS, serebral palsi, kas distrofileri bu durumlardan bazılarıdır. İleri derece motor nöron fonksiyonu olan ALS gibi hastalıklar, bireyleri tamamen vücutlarına hapsedmektedir. Çünkü birey bu rahatsızlık halinde beynin düşünme, algılama gibi fonksiyonlarını yerine getirebilmekle birlikte motor nöronlarını harekete geçirecek yeteneği kaybetmiş bulunmaktadır. Çevrelerinde olan biteni görmekte, algılamakta fakat tepki verememektedirler. Bu durum hastaların çevre ile iletişimlerini tamamen koparmaktadır.

Günümüzde Elektroensefalografi (EEG) adı verilen işlem sayesinde kafanın belli bölgelerine yerleştirilen elektrotlar yardımı ile saçlı deri üzerinden gerçek zamanlı olarak beyin sinyalleri kaydetmek mümkündür. Beyin-Bilgisayar Arayüzleri (BBA), EEG sinyallerini kullanarak motor yetkinliğini kaybetmiş bireylerin çevre ile iletişime geçebilmelerini sağlamaktadır. BBA'lar beynin çalışması sırasında oluşan elektromanyetik dalgaların bir şekilde yorumlanarak elektronik cihazlara komut olarak verilmesi ile oluşturulan sistemlerdir. SSVEP (Kararlı Durum Görsel Uyarılar) ise kararlı durumdaki bireylere görsel uyarılar verilerek tepkilerinin ölçüldüğü sistemlerdir.

Beyin sinyalleri ile ilgili bilinen ilk çalışma hayvanlar üzerinde gerçekleşmiş ve bu çalışma ile hayvan beyninin elektriksel aktivitelere sahip olduğu keşfedilmiştir (Caton 1875). Daha sonra insan beyni üzerinde yapılan çalışmalar sonucu insan beyninin de elektriksel aktivitelere sahip olduğu anlaşılmıştır (Berger 1929). Ardından EEG sayesinde kaydedilen bu sinyaller BBA'ların geliştirilmesi için de kullanılmaya başlanmıştır. Yakın geçmişte yapılan çalışmalara baktığımızda, EEG sinyallerini işleyerek rahat durum, problem çözümü, sağ el hayali, sol el hayali ve harf hayali gibi

belirlenen durumların tespiti gerçekleştirilmiştir (Özmen 2010). Emotiv Epoc EEG başlığını kullanarak yapılan bir başka çalışmada motor nöronların hareketinin hayal edilmesine bağlı beyin dalgalarının belirlenmesini amaçlanmıştır (Fakhruzzaman vd. 2015). Literatüre baktığımızda BBA ile ilgili olarak; bilgisayar ortamında iki boyutlu imlecin kontrolü, telefonların kablosuz olarak uzaktan kontrolü, DC motorların çalıştırılması gibi çevre birimlerini kontrol etmeyi amaçlayan çalışmalar da mevcuttur (Başıl 2015, Wolpaw vd. 2002, Cambell vd. 2010, Olgun 2014). Öyle ki günümüzde akıllı ev kontrolleri için BBA kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır (Virdi vd. 2017). Hangi amaçla kullanılırsa kullanılsın, genel olarak bir BBA sisteminin gerçekleşmesi için gereken temel adımlar şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Literatür Akış Diyagramı (Özmen 2010).

Kullanıcılara verilen uyarılar sonucu, beyinde meydana gelen EEG sinyallerinin incelenmesi, kontrollü BBA çalışmaları arasında yer almaktadır. P300 uyarılmış potansiyeller kullanılarak, harfler ve özel simgelerden oluşan bir arayüz karşısında kullanıcıdan kelimeler yazması istenmesi bu kontrollü çalışmalara örnektir (Farwell; Soman 2015 vd). Ayrıca BBA tabanlı heceleme sistemlerinin optimizasyonu ve SSVEP tabanlı sistemler için yeni giyilebilir EEG okuyucuların geliştirilmesi gibi çalışmalar da SSVEP tabanlı sistemlerin gelişmesi ve yaygınlaştırılması adına yapılan çalışmalar arasında yer almaktadır (Yin vd. 2014, Ahn vd. 2018).

SSVEP tekniği kullanılarak yapılan bu çalışmada ise kullanıcıya sunulan görsel uyaranlar ve bu uyaranlarla ilişkili harfler sayesinde bir heceleme sistemi oluşturulmuştur (Gökbulut B. 2017). Önerilen heceleme sistemi, bir EEG cihazı sayesinde saçlı kafatası derisi üzerinden alınan beyin sinyallerinin işlenmesi ve sınıflandırılmasına dayanan BBA sistemleri yapısıyla oluşturulmuştur. Bunun için gerekli olan temel bileşen olan insan beyni hakkında bilgi verilmiş, beynin bölümleri ile bu bölümlerinin işlevlerine değinilmiştir. Sistemin temel bileşeni olan beyin sinyalleri, bu sinyallerin türleri ve hangi durumlarda ortaya çıktıkları belirtilmiştir. Ardından önerilen yöntem belirtilerek, yöntemin gerçekleşmesi için gereken adımlar açıklanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

BBA uygulamalarında amaç, bireyin kas sistemini kullanmadan yani konuşmadan, eliyle işaret etmeden, kıpırdamadan durarak isteğini dış dünyaya aktarmasını sağlamaktır. Bu durumda beyin sinyalleri devreye girmektedir.

### Beyin Sinyalleri

Beyin, yüz milyarlarca sinir hücresinden oluşur ve genelde 4 lobda incelenir. Frontal lob, istemli hareketler, konuşma, konsantrasyon, öfke ve kişilik olgularını kontrol eder. Oksipital lob görme ile ilgilidir. Parietal lob, diğer loblardaki görme, duyma, motor ya da duyu sinyallerinin değerlendirilmesinde görevlidir. Kulak hizalarında yer alan temporal lob ise beynin hafıza ile ilgili bölümüdür (Lim vd. 2017).

Beyin sinyalleri, bir nörondan diğer nörona bilgi aktarımı sırasında elektromanyetik etkileşimler sayesinde açığa çıkmaktadır. Sırası ile Delta, Teta, Alfa, Beta ve Gama olarak isimlendirilen bu dalgaların özellikleri aşağıda özet şekilde açıklanmıştır.

*Delta Dalgaları:* 0.5-4 Hz frekansa sahiptir. Yetişkin bireylerde çok düşük aktivite ve uyku halinde görülür.

*Teta Dalgaları:* 4-8 Hz frekansa sahiptir. Yetişkin bireylerde mutsuzluk, stres, hayal kırıklığı gibi durumlarda ortaya çıkar.

*Alfa Dalgaları:* 8-12 Hz frekansa sahiptir. Uyanık halde, normal ve sakin bir hal içerisinde ortaya çıkar. Uyku halinde görülmezler.

*Beta Dalgaları:* 12-25 Hz frekansa sahiptir. Uyanık durumda bireyin dikkatini bir faaliyete vermesiyle ortaya çıkar.

*Gama Dalgaları:* 25 Hz ve üstü frekansa sahiptir. Aşırı zihinsel aktivitelerde görülür.

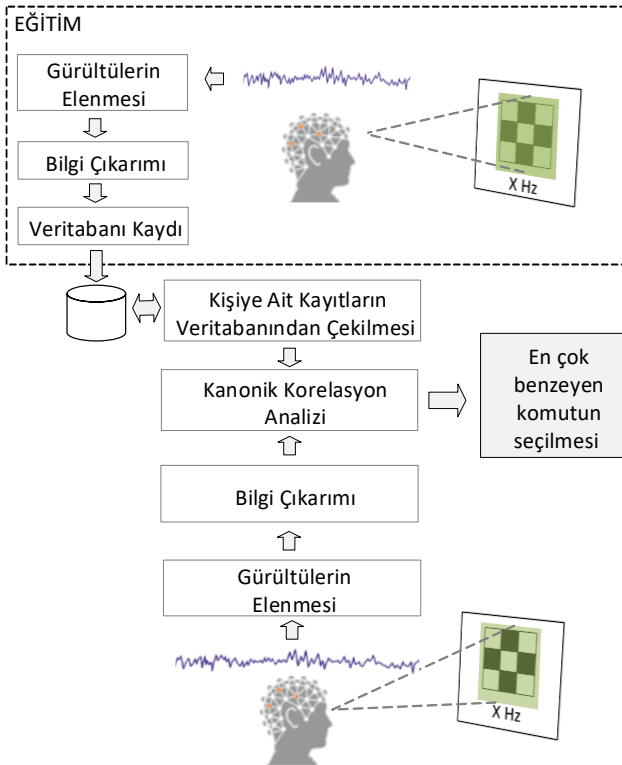
### EEG Ölçüm Yöntemi

EEG ölçümü için beyin loblarının görevleri de göz önüne alınarak elektrotların yerleştirilmesi 10-20 olarak adlandırılan uluslararası standarda bağlanmıştır (Olgun vd. 2014). Bu standartlara göre alınan beyin sinyalleri alçak genlik değerlerine sahip olduklarından gürültü gibi bozucu etkilerden kolayca etkilenirler. Sinyal kalitesini bozan ve özellik çıkarım aşamasını zorlaştıran bu gürültülerin elemine edilmesi gerekir (Grimann vd. 2011). Gürültüler biyolojik ve teknik gürültüler olmak üzere iki açıdan karşımıza çıkarlar. Biyolojik gürültüler, bireyin normal göz kırpması, nefes alma gibi aktivitelerini sürdürmesi sırasında beyinde oluşan elektriksel sinyalde oluşan bozulmalardır (Özmen 2010). Teknik gürültüler ise şehir şebekesi, ortamdaki cihazlar gibi çevresel faktörlere bağlı olarak kaydedilen sinyalde oluşan bozulmalardır. Bu gürültülerin elemine edilmesi için literatürde çeşitli yöntemler mevcuttur (Agustina vd. 2011; Zhaojun vd. 2006).

### Önerilen Yöntem

Bu çalışmada SSVEP tekniği kullanılarak görsel uyaranlara maruz kalmış bireylerden toplanan sinyaller ile bir heceleme sistemi önerilmiştir. Temel olarak eğitim ve test kısımlarından oluşan önerilen yöntemde ait blok diyagramı şekil 2'de verilmiştir. Önerilen yöntemde, şekil 2'den de görüleceği üzere, sinyallerin elde edilmesi işlemini gürültülerin elemesi, bilgi çıkarımı ve K işleminin gerçekleşmesi takip etmektedir. Sinyallerin doğru bir şekilde kaydedilmesi sistemin düzgün çalışması için oldukça önemlidir. Bu sinyallerin alınması için beynin ilgili yerlerinin bilinmesi önemlidir. SSVEP tepkileri kafatasının arka tarafından alınan EEG sinyallerinde görülebilir.





Şekil 2. Önerilen Yöntemin Akış Diyagramı.

Bunun sebebi beyin ve loblarını incelediğimizde Oksipital Lobun kafatasının arka kısmına denk geliyor olmasıdır (Thota vd. 2017). İkinci önemli nokta ise sinyallerin alınması sırasında görsel uyaran sabitse, EEG sinyallerinde kolaylıkla fark edilir bir değişime sebep olmamasıdır. Kaydedilen EEG sinyalleri incelendiğinde görsel uyarının değişiminden 100 milisaniye sonra dürtü olduğu gözlemlenmektedir. Bu dürtü P100 (tepe) olarak adlandırılmaktadır. Görselin etkisinin sinyaller üzerindeki etkisinin daha iyi gözlemlenmesi adına bu görsel uyarılar sürekli verilir kesilmelidir. SSVEP tabanlı sistemlerde farklı frekanslardaki görsel uyarılara odaklanan bireylerin odaklanma anındaki EEG sinyalleri, odaklandığı uyaran frekansına göre değişiklik göstermektedir. Yapılan çalışmalarda görülmüştür ki, 5–27 Hz arasındaki frekansa sahip uyarıların, en verimli sonucu vermektedir (Pastor vd. 2003).

#### Görsel Uyarıların Seçimi:

SSVEP tabanlı BBA sistemleri dış uyarılara ihtiyaç duymaktadırlar. Kullanıcının beyninde SSVEP dalgaları oluşturmak için kullanıcı uyarılır. Kullanıcının yoğun olarak oksipital bölgesinden kaydedilen beyin sinyallerindeki

frekanslar, uygulanan algoritmalar sonucu çözülerek kullanıcının bu kayıt sırasında hangi görsele odaklandığı tespit edilir. Bu çalışma için bilgisayar monitörü kullanılarak görsel uyarılar tasarlanmıştır. SSVEP sinyali üretilmesi için kullanıcının odaklanacağı görsel uyarana bir frekans verilmelidir. LCD monitör kullanılan tasarımlarda uyarının frekansı monitöre bağlıdır. Monitörün yenilenme hızı M, çerçeve sayısı Ç iken T periyoduna sahip bir görsel uyaran;

$\text{Ç} = M \times T$  formülü ile hesaplanır.

#### Sinyal Elde Etme ve Ön İşleme:

Beyinde meydana gelen elektriksel aktiviteler elektrotlar yardımıyla alınırlar. EEG sinyalleri düşük genlikli oldukları için yükseltici kullanılması gerekmektedir. Elde edilen analog sinyaller sayısal sinyaller formuna geçirilir ve bilgisayara aktarılır. Gürültülerin elenmesi için bu sayısal sinyallere özellik çıkarımından önce ön işleme işlemleri uygulanır. Bu yöntemlere örnek olarak en yaygın kullanılanları, ICA (Bağımsız Bileşenler Analizi), filtreleme (lineer ve lineer olmayan), dalgacık dönüşümü, temel bileşenler analizi (PCA) yöntemleridir (Xue vd. 2006; Barbati vd. 2004; He vd. 2004; Shoostari vd. 2006; Kumar vd. 2008). Bu çalışmada genellikle düşük aktivite ve uyku durumunda açığa çıkan düşük frekanslar ile nöbet gibi aşırı zihinsel aktiviteler sonucu açığa çıkan yüksek frekansları elemek için 5–40 Hz bant geçiren filtre uygulanmıştır.

#### Öznitelik Çıkarma:

Kaydedilen EEG sinyalleri ön işlemde geçirildikten sonra öznitelik çıkarma sürecine tabi tutulmaktadır. Öznitelik çıkarma işlemi bu süreçteki en önemli adımlardan biridir. Ön işlemeden sonra birçok veri barındıran bu sinyallerden, tasarlanacak sisteme yararlı olabilecek bilgileri ayıklamak gerekmektedir. Gerilim Genliği Ölçümü, Spektral Çözümleme, ICA, PCA, Wavelet Dönüşümü öznitelik çıkarımı adımıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada toplanan sinyallerin spektral güç yoğunlukları öznitelik olarak kullanılmıştır.

### Sınıflandırma Algoritması:

Öznitelik çıkarımından sonra elde edilen veriler sınıflandırma algoritmaları kullanılarak ayrıştırılırlar. Elde edilen öznitelikler, sınıflandırma algoritmalarına giriş olarak verilirler. Çıktı olarak ise verilen özniteliklere göre gelen sinyalin hangi sınıfa daha çok benzerlik gösterdiği bilgisi elde edilir. Literatüre bakıldığında, sınıflandırma algoritmaları olarak birçok yöntem kullanılmaktadır. Destek Vektör Makineleri (DVM), K en yakın komşuluk (KNN), Yapay Sinir Ağları (YSA), Bulanık mantık ve Doğrusal Ayırma Analizi (DAA) ve Saklı Markov Modelleri (SMM) bunlardan bazılarıdır. Bu çalışmada ise sınıflandırma işlemi için Kanonik Korelasyon Analizi (KKA) kullanılmıştır.

KKA, iki değişken birimi arasındaki benzerliği belirlemede yardımcı olan çok değişkenli yapıya sahip bir analiz metodudur (Hotelling 1936). Metodun amacı, belirtilen iki değişken arasındaki en yüksek korelasyonu bulmaktır. Bu çalışma kapsamında, kullanıcıdan kaydedilen beyin sinyalleri ile oluşturulan her bir referans sinyali KKA yöntemine girdi olarak verilmektedir. En büyük korelasyonu veren referans sinyalin ait olduğu sınıf, girdinin sınıfı olarak belirlenir. Ardından oluşturulan arayüz yardımıyla bireyin odaklandığı uyaran anlaşılır.

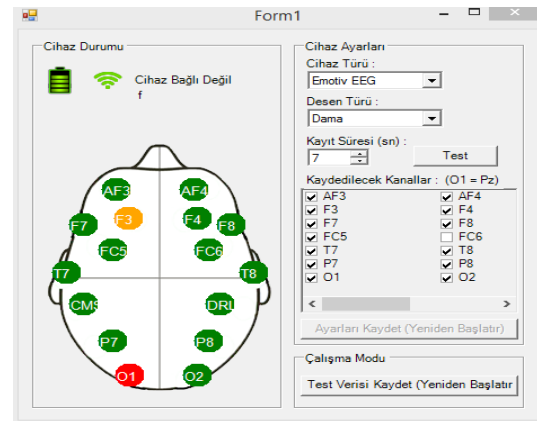
### Uygulama ve Başarımlar

Bu çalışmada görsel uyaranların oluşturulması için seçilen ekranın çözünürlüğü 1280x960 pikseldir (Wu vd. 2012). Monitör yenilenme hızı 60 Hz olup, arayüz ve uyaranların tasarımında C# ve XNA Game Studio kullanılmıştır. Sinyallerin elde edilmesi için ise 16 kanallı Emotiv marka Epoc+ EEG cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın örnekleme frekansı 128 Hz ve çözünürlüğü 0.51  $\mu V$ 'tur. Wireless çalışma özelliği, sensörlerin yenilenebilir olması, tekrar tekrar şarj edilerek kullanılabilir olması cihazı teknik ve ekonomik açıdan avantajlı duruma getirmektedir. Çalışmada kullanılan EEG cihazının görüntüsü şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Emotiv Epoc+ EEG Headset Görşeli.

Uygulamayı kullanmadan önce EEG cihazının kafaya yerleştirilmesi ve cihaz üzerindeki sensörlerin doğru konumlandırıldığından emin olunması gerekmektedir. Bu cihaza ait arayüz şekil 4'te verilmiştir. Şekilde yer alan siyah henüz sinyal alınamayan sensörü temsil ederken, renk skalası kırmızı-sarı-turuncu-yeşil şeklinde değişmekte ve sinyal alabilme verimini göstermektedir. Yeşil renkte olan sensörler sinyal alımı için uygun ve en verimli durumdadır anlamını taşımaktadır.

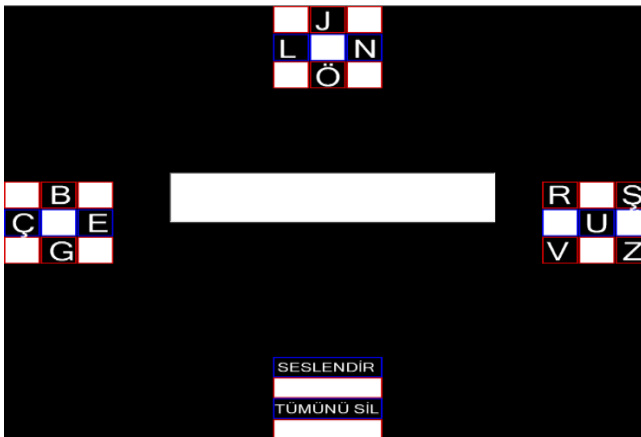


Şekil 4. Sensörlerin Durumunu Gösteren Arayüz

Tasarlanan sistemde alfabedeki harfler 9 harften oluşan 3 gruba ayrılmıştır. 4. grup kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Ekranın sağ-sol-alt ve üst kısmına konumlandırılmış olan çerçeveler farklı frekanslarda yanıp sönmektedir. Ekranın ortasında sabit duran yazı kutusu bulunmaktadır. Kullanıcının odaklandığı harf son iterasyonda kutucuğa yazdırılmaktadır. Kullanıcı yazdırmak istediği kelimeyi yazdırdıktan sonra kontrol grubunu kullanarak seslendirilmesini sağlayabilmektedir. Hatalı yazım yaptığı zaman yine kontrol grubunu kullanarak silme işlemi yapabilmektedir. Yazılan tüm metin silinmek istendiği zaman

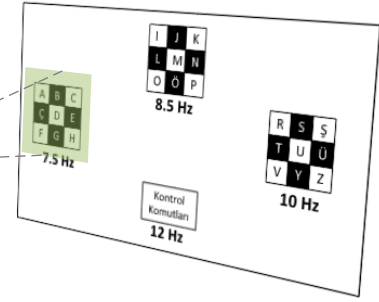
kullanılacak tümünü sil seçeneği de kontrol grubunda bulunmaktadır.

Arayüz üzerinde Türkçe’de kullanılan Latin alfabesindeki harfler gruplandırılmıştır. Her grup farklı frekanslarda yanıp sönmektedir (7,5 – 8,5 – 10 – 12 Hz). Kullanıcı EEG cihazı kafasına yerleşmiş ve aktif durumdayken yazdırmak istediği harfin de olduğu harf çerçevesine odaklanmaktadır. 7 saniye süren bu odaklanma sonucunda EEG cihazı sayesinde bilgisayara aktarılan beyin sinyalleri, oluşturulan otomasyonda çevrimiçi analiz edilir, sınıflandırılır ve hangi gruba odaklanıldıysa o grup parçalara ayrılacak şekilde komut alır. Örnekle açıklamak gerekirse, ekranda 7,5 Hz frekansında yanıp sönen, A,B,C,Ç,D,E,F,G,H olmak üzere 9 harften oluşan bir çerçeve bulunmaktadır. Aynı şekilde 8,5 Hz frekansında yanıp sönen ve I,İ,J,K,L,M,N,O,Ö harfleri olan bir başka çerçeve ve 10 Hz frekansta yanıp sönen P,R,S,Ş,T,U,V,Y,Z harflerinin olduğu üçüncü bir çerçeve vardır. Sinyal oluşumunda daha etkili olduğu için dama görsel uyarını kullanılmıştır. Kullanıcı 7,5 Hz frekansında yanıp sönen soldaki kutucuğa odaklandığında beyin buna uygun frekans üretecek, artık kullanıcı A,B,C harflerini solda, Ç,D,E harflerini yukarda, F,G,H harflerini ise sağda görecektir. Bu işlemin bir kez daha tekrarlanması ile harfler tek haneye indirilecek ve kullanıcı istediği harfe bu şekilde ulaşmış olacaktır. ‘B’ harfini yazdırmak için kullanılan arayüz ve geçen süreç şekil 5 ve şekil 6’da verilmiştir.

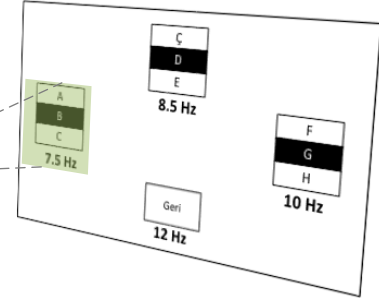


Şekil 5. Sistem Arayüzüne ait Bir Görüntü

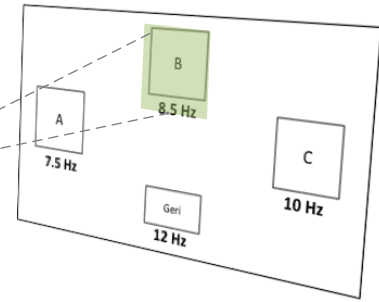
1. Adım:



2. Adım:



3. Adım:

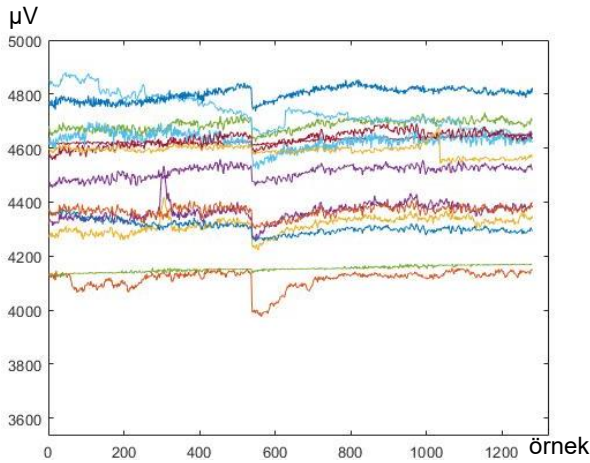


Şekil 6. Geliştirilen Sistem ile ‘B’ Harfinin Yazdırılma Adımları.

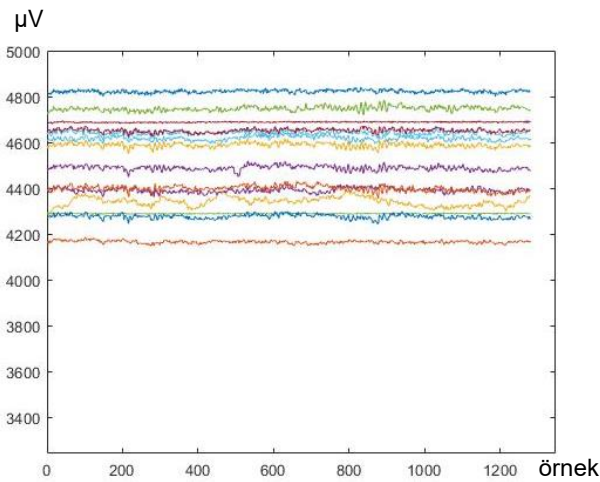
Bu sistemin eğitilmesi için öncelikle eğitim verileri toplamıştır. Bu eğitim verileri 30 metrekarelik bir odada ortamda gürültüye sebep olabilecek kablosuz internet ve elektromanyetik diğer cihazların bağlantıları kesilmiş, cep telefonları kapalı duruma getirilmiş halde elde edilmiştir.

Kullanıcı kafatasına yerleştirilen EEG cihazı sensörleri kontrol edilmiş ve kullanıma uygun oldukları gözlenmiştir. Kullanıcı 7 saniye süre ile eğitim verisi kaydetmek için yanıp sönen görsellere odaklanmıştır. Odaklanma süresinde kullanıcı göz kırpmamıştır. Kullanıcı normal nefes alış verişini gerçekleştirmekte ve rahat oturma pozisyonunda bulunmaktadır. Bu şartlarda 7 saniye boyunca kullanıcıdan 7.5, 8.5, 10 ve 12 Hz’lik uyarılar için veriler elde edilmiştir. Elde edilen EEG sinyalleri csv uzantısıyla kaydedilmiştir. Farklı frekans ile yanıp sönen uyarı karşısında farklı yaşlarda

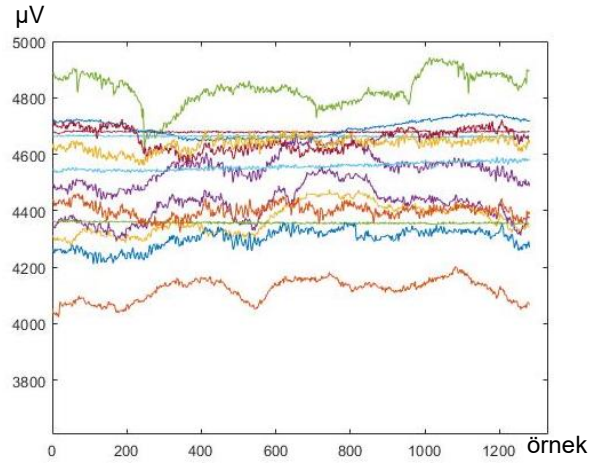
erkek kullanıcının 7 saniye boyunca odaklanması istenmiş ve elde edilen veriler kaydedilmiştir. Normal nefes alış verişi durumunda ve rahat oturma pozisyonunda bulunan kullanıcıdan örnek olarak alınan ham sinyaller şekil 7 ile 10 arasında verilmiştir. Şekillerde yer alan veriler saçlı deri üzerinden alınmıştır ve herhangi bir ön işlem veya sınıflandırma algoritmasından geçirilmemiştir. Verilen şekiller BBA sistemleri ile yapılacak çalışmaların sonuçlarının doğruluklarını artırmak için ne denli hassas ölçümler yapılması ve ne denli dikkatli hesaplamalar yapılması gerektiğini vurgulamaktadır. Bozulmaya uğrayan sinyallerin sistemi zaman ve maliyet açısından olumsuz etkilediği de göz önüne alınır, kullanılacak örnek verilerin bozulmalara uğramamış ya da en az seviyede uğramış olması oldukça önem arz etmektedir.



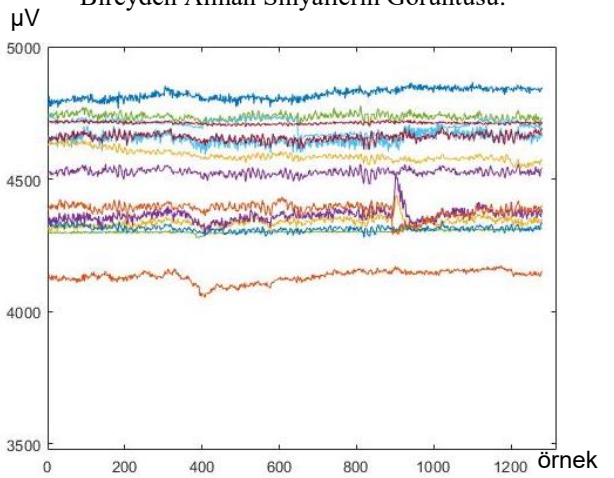
Şekil 7. 5 Hz Uyarı Altında 19 Yaşındaki Erkek Bireyden Alınan Sinyallerin Görüntüsü.



Şekil 8. 5 Hz Uyarı Altında 25 Yaşındaki Erkek Bireyden Alınan Sinyallerin Görüntüsü.



Şekil 9. 5 Hz Uyarı Altında 24 Yaşındaki Erkek Bireyden Alınan Sinyallerin Görüntüsü.



Şekil 10. 7 Hz Uyarı Altında 19 Yaşındaki Erkek Bireyden Alınan Sinyallerin Görüntüsü.

Aynı şartlarda farklı bireylerin beyni tarafından oluşturulan sinyaller şekillerden de görüleceği üzere farklılık göstermektedir. Bundan dolayı her birey için tasarlanan BBA sisteminin özel olması gerekmektedir. Dolayısıyla yapılan çalışmada her birey farklı frekanslarda uyarılara maruz bırakılmıştır. Bu uyarılar esnasında toplanan EEG sinyalleri 5-40 Hz geçiren filtreden geçirilmiştir. Farklı frekanslarda (7,5 – 8,5 – 10 – 12 Hz) Elde edilen sinyallerin Welch spektral güç yoğunlukları hesaplanarak kişi bilgisi ile bilgisayara kaydedilmiştir. Bu şekilde eğitim kısmı tamamlanmıştır. Sistemi kullanmak isteyen kullanıcı arayüz aracılığıyla yazmak istediği harfin bulunduğu kısma odaklanmıştır. Bu esnada elde edilen EEG sinyali yine filtreleme ve özellik çıkarma adımlarından geçirilerek elde edilen özellikler kişiye ait kayıtlı özellikler ile kıyaslanmıştır. Bu

kıyaslama işlemi KKA yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. En büyük benzerliği gösteren kayıt, kullanıcının odaklandığı frekans olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak bu frekansta yanıp sönen bölümde yer alan harfin yazdırılması işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma başarımını ölçmek adına yaşları 18 ile 30 arasında değişen 2 kız ve 3 erkek birey sisteme tanıtılmıştır. Ardından her birinden sırası ile su, yemek ve tuvalet kelimelerini yazdırmaları istenmiştir. Bireylerin hepsi su ve yemek kelimesini zorlanmadan yazdırırken tuvalet kelimesi için 2 birey silme işlemine ihtiyaç duymuştur. Yapılan testler ile 5 kişinin gerçekleştirmiş olduğu toplam 15 denemeden 13'ünün doğrudan başarılı olduğu görülmüştür.

## Sonuçlar ve Tartışma

Sosyal bir birey olan insanın çevresiyle iletişim kurabilmesi, yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmesi için en önemli aktivitelerinden biridir. Bu çalışmada kaza, hastalık gibi bazı sebeplerle iletişim yeteneklerini kaybeden bireylerin iletişim kurabilmeleri için SSVEP tabanlı heceleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Emotiv Eporc+ EEG Headset kullanılmıştır. Alınan sinyaller 5-40 Hz geçirgen filtreden geçirilmiştir. Bu sinyallerin welch spektral güç yoğunlukları hesaplanarak öznitelik o sinyale ait öznitelikler edinilmiştir. BBA sistemlerinin en önemli özelliklerinden biri kişiden kişiye farklılık göstermesidir. Aynı olaylar farklı bireylerde farklı etkiler yaratır, aynı görseller farklı bireylerde farklı tepkilere sebep olur. Bu bağlamda BBA sistemlerinin genelleştirilmesi sistemin doğruluk payının azalması sonucunu doğurabilir. Bu yüzden geliştirilen sistem her birey için ayrı eğitim gerektirir. Eğitim için sistemi kullanacak kişiye farklı frekanslarda uyarılar verilmiş ve bu frekanslara göre verdiği tepkilerin özellikleri çıkarılarak kaydedilmiştir. Ardından gerçek zamanlı olarak kullanıcının uyarana odaklanması sonucu elde edilen sinyal ile önceden kaydedilen sinyaller KKA'ya tabi tutularak benzerlikleri belirlenmiştir. En çok benzerlik gösterdiği durum ise kullanıcının seçmek istediği durum olarak değerlendirilmiştir.

Tasarlanan sistem ile 5 farklı kullanıcıdan toplamda 15 farklı kelime yazması istenmiş ve yaklaşık 87%'sinin doğrudan istediği kelimeyi başarı ile yazdığını gözlemlenmiştir. Geri kalanlar ise silme işlemi gerçekleştirdikten sonra istedikleri kelimeyi yazdırabilmiştir. Yazılmak istenen kelimenin uzaması ile kullanıcıların odaklanmasında yaşanan düşüş ve kullanıcıların saç yoğunluğunun sistemin kararlılığını etkilediği gözlemlenmiştir.

Geliştirilen sistemden olumlu çıktılar elde edebilmek adına cihaz 180 derece döndürülerek, normal kullanımına ters biçimde kullanılmıştır. Görsel uyarana bağlı olarak oksipital bölgeden daha verimli sinyal almak adına yapılan bu işlem, cihazın düz kullanımına oranla daha kolay sinyal almasını sağlamıştır. Yapılan çalışmada ekranda bulunan görsel uyarılar doğrultusunda kullanıcılardan istedikleri kelimeyi yazdırmaları, silmeleri, seslendirmeleri gibi fonksiyonları başarılı bir şekilde tamamladıkları görülmüştür.

## Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından MF.18.24 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- Agustina, M., Correa, G., Laciari, E., (2011). Noise Removal from EEG Signals in Polisomnographic Records Applying Adaptive Filters in Cascade, *Adaptive Filtering Applications*.
- Ahn., J.W., Ku, Y., Kim, D.Y., Sohn, J., Kim, J.H., Kim, H.C., (2018). Wearable in-the-ear EEG system for SSVEP-based brain-computer interface, *Electronic Letters*, 54(7), 413-414.
- Barbati, G., Porcaro, C., Zappasodi, F., Rossini, P.M., Tecchio, F., (2004). Optimization of an independent component analysis approach for artifact identification and removal in magnetoencephalographic signals, *Clinical Neurophysiology*, 115, 1220-1232.
- Başçıl, S.M., (2015). Beyinde Üretilen Yöne Bağlı EEG Sinyallerinin Öznitelik Çıkarımı Yardımıyla Sınıflandırılması, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Berge, H., (1929). Über das electrenkephalogramm des menchen, *Arch PsychiatrNervenkr.* 87, 527-570.

- Cambell, A.T., Choudhury T., Hu, S., Lu, H., Mukerjee, M.K., Rabbi, M., Raizada, R.D.S., (2010). Neurophone Brain-Mobile phone interface using a wireless EEG Headset, Mobiheld, New Delhi India.
- Coton, R., (1875). The electric currents of brain, *Br. Med. J.* 2278.
- Fakhruzzaman, N.M., Riksakomara E., Suryotrisongko H., (2015). EEG wave identification in human brain with Emotiv EPOC for motor imagery, *Procedia Computer Science*, 72, 269-276.
- Farwel, L.A., Donchin, E., (2008). Talking off the top of the head toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials, *Electroenceph Clin. Neurophysiol*, 510-523.
- Gökbulut, A.B., (2018). Beyin Bilgisayar Etkileşimi ile İnsansız Hava Aracı Kontrolü için döngüde İnsanlı Benzetim Çatısının Geliştirilmesi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Grainmann, B., Allison, B., Pfurtscheller, G., (2011). Brain-Computer Interfaces: Revolutionizing Human-Computer Interaction, Springer Verlag.
- He, P., Wilson, G., Russell, C., (2004). Removal of ocular artifacts from electroencephalogram by adaptive filtering, *Medical and Biological Engineering and Computing*, 42, 407-412.
- Hotelling, H., (1936). Relations Between Two Sets of Variates \*, *Biometrika Trust*, 28, 321-377.
- Kumar, P.S., Arumuganathan, R., Sivakumar, K., Vimal, C., (2008). A wavelet based Statistical Method for De-Noising of Ocular Artifacts in EEG Signals, *International Journal of Computer Science and Network Security (JCSNS)*, 8, 87-92.
- Lim, Hooi, S., Nisar, H., Thee, K.W., Yap, V.V., (2017). A novel method for tracking and analysis of EEG activation across brain lobes, *Biomedical Signal Processing and Control*, 40, 488-504.
- Olgun, N., Gokbulut M., Tanyıldızı, E., (2014). SSVEP Tabanlı Beyin Bilgisayar Arayüzü Tasarımı ve Sistem Otomasyonu, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Ozmen, G.N., (2010). Beyin Bilgisayar Arayüzü Tasarımı için Farklı Zihinsel Aktiviteler Esnasında Oluşan EEG İşaretlerinin Analiz Edilmesi ve Sınıflandırılması, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Pastor, M.A., Artieda, J., Arbizu, J., Valencia, M., Masdeu, J.C., (2003). Human cerebral activation during steady-state visual-evoked responses, *J. Neurosci*, 23, 621-627.
- Shooshtari, P., Mohamadi, G., Ardekani, B.M., Shamsollahi, M.B., (2006). Removing Ocular Artifacts from EEG Signals using Adaptive Filtering and ARMAX Modeling, *Proceedings of World Academy of Science Engineering and Technology*, 11, 277-280.
- Soman, S., Murthy B.K., (2015). Using brain computer interface for synthesized speech communication for the physically disabled, *Procedia Computer Science*, 46, 292-298.
- Thota, N., Lenka, A., George, L., Hedge, S., Arumugham, S.S., Prasad, S., Stezin, A., Kamble, N., Yadav, R., Pal, P.K., (2017). Impaired frontal lobe functions in patients with Parkinson's disease and psychosis, *Asian Journal of Psychiatry*, 30, 192-195.
- Virdi, P., Syal, P., Kumari, P. (2017). Home automation control system implementation using SSVEP based brain computer interface, *International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI)*.
- Xue, Z., Li, J., Li, S. (2006). Using ICA to Remove Eye Blink and Power Line Artifacts in EEG, *Proceedings of the First International Conference on Innovative Computing, Information and Control*, 3, 107-110.
- Wolpaw, R.J., Birbaumer N., McFarland, D.J., Pfurtscheller, G., Vaughan, T.M., (2002). Brain interfaces for communication and control, *Clinical Neurophysiology*, 113, 767-791.
- Wu, C.H., Heba L., (2012). Impact of Stimulus Configuration on Steady State Visual Evoked Potentials (SSVEP) Response, *The Fourth International Conference on Advance Cognitive Technologies and Applications*.
- Yin, E., Zhou, Z., Jiang, J., Yu, Y., Hu, D., (2014). A Dynamically Optimized SSVEP Brain-Computer Interface (BCI) Speller, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 62(6), 1447-1456.
- Zhaojun, X., Jia, L., Song, L., Baikun, W., (2006). Using ICA to Remove Eye Blink and Power Line Artifacts in EEG, *Proceedings of the First International Conference on Innovative Computing Information and Control*, 3, 107-110.

## **Development of SSVEP Based Brain Computer Interface for Communication of Individuals with Loss of Motor Neurons**

### **Extended abstract**

*Communicating is one of the most important activities in order to carry on his vital activities for social persons. In this study, SSVEP-based spelling system is implemented to keep communication of individuals with any loss of communication skills due to accident or illness. Emotiv Epoc+ EEG Headset is used in the study. The signals, which are received by the Epoc+, are passed through the preprocessing stages to remove noise. Then, noise-free raw EEG signals are available for feature extraction. By applying feature extraction on the signals, the information about that signal is obtained. One of the most important features of BCI (Brain Computer Interface) systems is that it differs from person to person. The same events create different effects in different individuals, the same visions cause different reactions in different individuals. In this context, generalization of BBA systems may result in a reduction of the accuracy of the system. Therefore, the proposed system requires a separate training for each individual. The stimulus at different frequencies are given to the person who will use the system for training, and the signal obtained is recorded after extracting features. Then, in real-time, the user's focus on the stimulus and the signal is obtained. The obtained signal and each of the trained signals are subjected to Canonical Correlation to find their similarity and detect which simulate the person focuses.*

*Considering the designed system interface, the greater the visual stimuli in the design, the more positive the user response has been. The user can focus more successfully with less eye fatigue. The fact that the small size of the stimulus affects the situation in the opposite way. The designed system is tested with many users. It is observed by experiments that factors such as hair density and hair length affect the stability of the system. While receiving high performance when the system is tested on short haired male subjects, it is encountered that the letters might be miswritten when the subjects are long haired males or long haired females.*

*In order to obtain positive outputs from the developed system, the device was rotated 180 degrees and used in reverse order to its normal use. Depending on the visual stimulus, this process, which is performed to get a more efficient signal from the occipital area, makes it easier to receive the signal than the straight use of the device. In the study done, with the help of the visual stimuli displayed on the screen, the users have successfully completed the functions such as printing/deleting the desired words and making it vocalize.*

**Keywords:** Brain Computer Interface, BCI, SSVEP, EEG.



# Mamogramların Sınıflandırılmasında Dokusal Özelliklerin Etkileri

**Canan ORAL\***

Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Amasya  
[canan.oral@amasya.edu.tr](mailto:canan.oral@amasya.edu.tr) ORCID: 0000-0001-9819-3979, Tel: (358) 260 00 67 (1472)

**Ayşe AYDIN YURDUSEV**

Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Amasya  
[ayse.yurdusev@amasya.edu.tr](mailto:ayse.yurdusev@amasya.edu.tr) ORCID: 0000-0001-6516-3976

**Erhan BERGİL**

Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Amasya  
[erhan.bergil@amasya.edu.tr](mailto:erhan.bergil@amasya.edu.tr) ORCID: 0000-0021-6526-1661

Geliş 09.03.2018, Kabul Tarihi: 30.03.2018

## Öz

Dokusal özellikler mamografi görüntülerini sınıflandırmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma, mamografi görüntülerini sınıflandırmada birinci derece ve ikinci derece dokusal özelliklerin etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla öncelikle bilgisayar destekli teşhis (BDT) sistemi tasarlanmıştır. Bilgisayar destekli teşhis sistemi temel olarak, teşhis doğruluğunu artırmayı ve desteklemeyi amaçlamaktadır. Tasarlanan sistem ön işleme, özellik çıkarımı ve sınıflandırma olarak üç adımdan oluşmaktadır. Ön işleme adımında öncelikle gürültü yok edilmiştir. Sonra pektoral kas temizlenmiş ve görüntü iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Özellik çıkarımı aşamasında iyileştirilmiş mamogram görüntülerinden birinci derece ve ikinci derece dokusal özellikler hesaplanmıştır. Son aşamada,  $k$  en yakın komşuluk ( $k$ -EYK) algoritması, destek vektör makineleri (DVM) ve Lineer Diskriminant Analizi (LDA) yöntemleriyle mamografi görüntüleri normal ve anormal olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırıcı açısından bakıldığında, DVM yönteminin  $k$ -EYK ve LDA sınıflandırıcılarına göre daha iyi bir performans sergilediği görülmektedir. LDA için %77.63,  $k$ -EYK için %82.89 ve DVM için %85.53 doğruluk ile mamografi sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Her bir özellik grubu ve sınıflandırıcı için elde edilen sınıflandırma sonuçları karşılaştırılmıştır. İkinci derece dokusal özelliklerin sınıflandırma başarımını artırdığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mamografi, dokusal özellikler, bilgisayar destekli teşhis, sınıflandırma

\* Yazışmaların yapılacağı yazar:



## Giriş

Meme kanseri tüm dünyada kadınlarda en yaygın görülen ve ölümlere neden olan kanser türüdür. Meme kanserinin erken tespiti ve tedavisi iyileşme oranını artırmada önemli rol oynamaktadır. Mamografi meme kanserinin erken tespitinde en etkili yöntemlerden biridir. Bilgisayar destekli teşhis (BDT) memedeki anormallikleri tespit etmek için bilgisayarlaştırılmış algoritmaları kullanmaktadır. BDT sistemi yanlış negatif teşhisleri azaltmak için radyoloji uzmanına ikinci görüş sağlamaktadır (Sahiner vd.,1996; Chen vd., 2011).

Literatürde meme kanserinin bilgisayar destekli tespiti için birçok çalışma mevcuttur. Shainer vd. (1996), dokusal özellikleri ve konvolusyonel sinir ağları kullanarak mamogramları normal ve anormal olarak sınıflandırmışlardır. Wei vd. (1995), mamogramlarda normal meme dokusundan kütleleri ayırt etmek için uzaysal gri seviye bağlılık matrisinden çıkarılan özelliklere dayalı çoklu çözünürlüklü doku analizinin uygulanabilirliğini incelemiştir. Chen vd. (2011), sonogram görüntülerinde meme lezyonları için dokusal özellikleri kullanan bilgisayar destekli teşhis sistemi önermişlerdir. Çalışmalarında dokusal özelliklerin teşhis uygulamalarında etkili sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Zheng vd. (2015), gri seviye histogram özellikleri, eş oluşum matrisi özellikleri, akış uzunluğu doku özelliklerinden yararlanarak mamogramlarda parankimal doku analizi gerçekleştirmiştir. Severoğlu (2016) gri seviye eş oluşum matrisleri özellikleri ile istatistiksel özelliklerin sınıflandırma başarımına olan etkilerini incelemiştir.

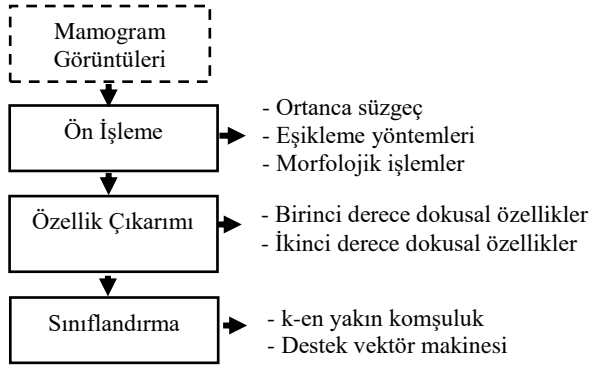
Mamografilerdeki dokusal değişimler mamografideki anormallikleri belirlemek için yararlı bilgiler içermektedir (Sahiner vd.,1996; Chen vd.,2011).

Literatürde farklı özellik gruplarının

kombinasyonları kullanılarak daha yüksek doğrulukta sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan birinci derece dokusal özellikler ile ikinci derece dokusal özelliklerin mamogram görüntülerinin sınıflandırılması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, sınıflandırma işlemi için sadece dokusal özellik çıkarım yöntemleri kullanılmıştır. Öncelikle, mamogram görüntüleri üzerinde ön işleme yapılarak görüntülerin ilgili bölümleri alınmıştır. Elde edilen her bir mamogram görüntüsünden birinci derece ve ikinci derece dokusal özellikler hesaplanarak özellik kümeleri oluşturulmuştur. Oluşturulan özellik kümeleri yağın olarak kullanılan k-En Yakın Komşuluk (k-EYK) algoritması, Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Lineer Diskriminant Analizi (LDA) kullanılarak sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Birinci derece ve ikinci derece dokusal özelliklerin sınıflandırma başarımına olan etkileri ve sınıflandırıcıların performansları karşılaştırmıştır.

## Materyal ve Yöntem

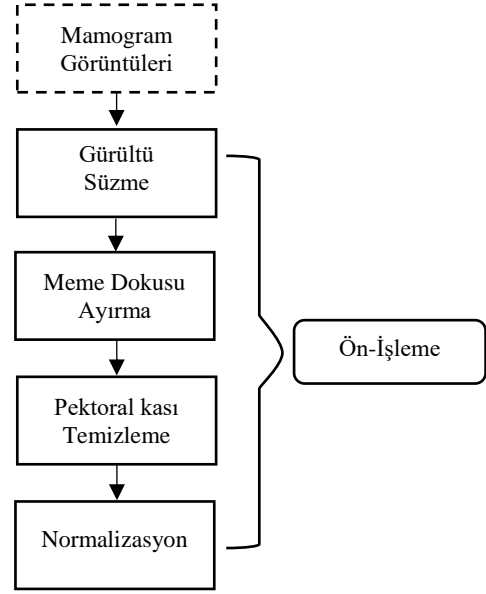
Bu çalışmada mamogram görüntüleri MIAS (Mammographic Image Analysis Society Mini Mammographic Database) veri tabanından alınmıştır. Veri tabanındaki görüntüler 50µm x 50µm piksel çözünürlüğüne sahiptir. Her görüntü 1024x1024 piksel boyutunda ve her piksel 8 bit ile temsil edilmektedir. Veri tabanı 208'i normal, 63'ü iyi huylu ve 51'i kötü huylu olmak üzere 322 görüntü içermektedir. (Suckling vd., 1994). Bu çalışmada birinci ve ikinci derece dokusal özelliklerin mamogramların sınıflandırılması üzerindeki etkilerini incelemek için bir bilgisayar destekli teşhis sistemi (BDT) tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem ön işleme, özellik çıkarımı ve sınıflandırma olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Tasarlanan BDT sistemin blok diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Tasarlanan BDT sistemi blok diyagramı

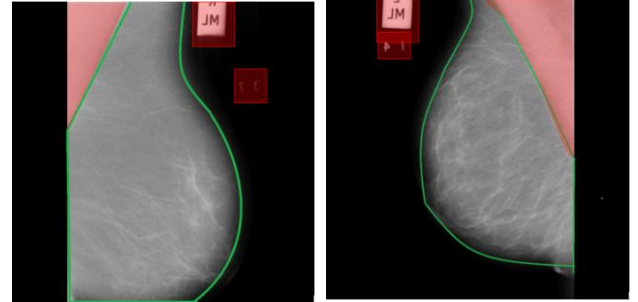
### Ön işleme

Sayısal görüntülerde ön işleme gürültüyü bastırmak ve görüntü kontrastını iyileştirmek için gerçekleştirilmektedir (Li vd., 2013; Sreedevi ve Sherly, 2015; Gonzalez ve Woods, 2014). Bir mamogram imgesinde yumuşak meme dokusu, meme derisi, pektoral kas dokusu ve etiketler bulunmaktadır. Buradaki her bilginin bir amacı olmasına karşın tümör, kalsifikasyon gibi yumuşak doku lezyonları incelendiğinden dolayı bu bilgilerin temizlenmesi gerekmektedir (Saltanat vd., 2010; Ganesan vd., 2013; Sreedevi ve Sherly, 2015; Pak vd., 2015). Etiketler, ışık patlamaları, mamografi cihazından kaynaklı gürültüler ve pektoral kas alanı yüksek yoğunluk değerine sahip oldukları için ve BDT sistemlerinde yanlış sonuçlara neden olabileceklerinden dolayı mamografi görüntülerinden temizlenmeleri gerekmektedir (Saltanat vd., 2010; Ganesan vd., 2013; Pak vd., 2015). Örneğin sağlıklı bir memede hiç lezyon yokken pektoral kas yüksek yoğunluk içerdiği için tümör varmış gibi algılanabilmektedir. Literatürde pektoral kasın temizlenmesi ile ilgili parlaklık tabanlı, Hough dönüşümlü, dalgacık dönüşümlü gibi farklı yöntemlerle yapılmış çalışmalar mevcuttur (Saltanat vd., 2010; Ganesan vd., 2013; Pak vd., 2015). Bu çalışmada ise ağırlıklı olarak morfolojik işlemler kullanılmıştır. Ön işleme aşamaları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Ön işleme aşamaları

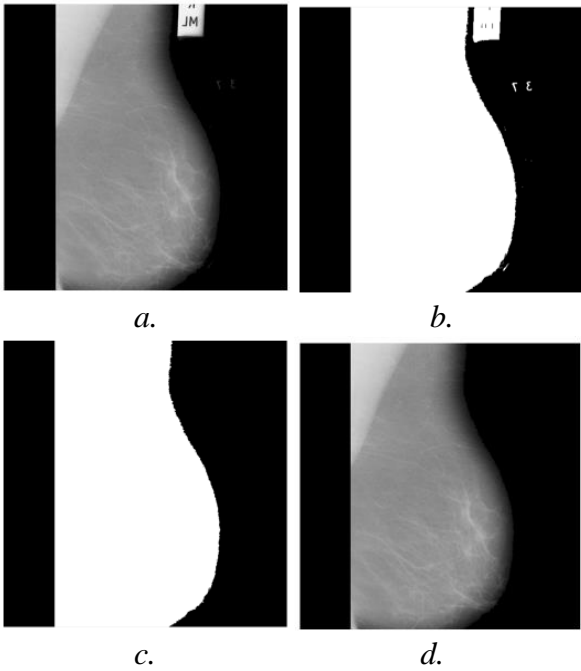
Şekil 3’te bir mamografi imgesinden yukarıda bahsedilen temizlemesi gereken alanlar kırmızı ile gösterilmiştir. Gerçekleştirilen ön işlem sonucunda kırmızı alanlar temizlenerek sadece meme dokusu elde edilmiştir.



Şekil 3. Mamografi segmentasyon alanları

Gürültü süzme aşamasında, veri tabanından alınan mamografi imgesini küçük gürültülerden arındırmak için  $3 \times 3$  boyutunda bir ortanca süzgeç kullanılmıştır. Ortanca süzgeç, süzgeç matrisi boyutunda gruplarla çalışarak, bir pikselin komşuları ile olan ilişkisine bakarak gruptaki değerlerden ortanca sırada olanını merkez piksele atayan bir filtredir (Gonzalez ve Woods, 2014). Küçük gürültülerden temizlenen imgenin bir sonraki aşamada yönlendirme etiketi, düşük yoğunluk değerli etiket, tarama ve kayıt gürültülerinden temizlenmesi gerekmektedir (Mustra vd., 2006). Bunun için sunulan ön işleminde eşikleme ve morfolojik işlemler kullanılmıştır. Şekil 4.a’daki imge

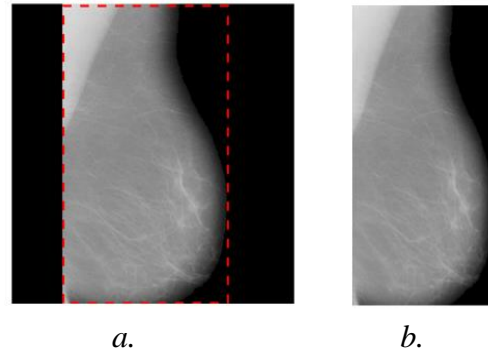
düşük bir eşik değeri kullanılarak siyah beyaz hale dönüştürülmüştür (Şekil 4.b). Siyah beyaz imgede sadece meme dokusunu ele almak için etiket ve rakamlar silinmiştir. Bunun için morfolojik işlemler yapılmış, en büyük siyah-beyaz alan bulunmuş ve bu alandan küçük alanların silinmesi gerçekleştirilmiştir. (Şekil 4.c) Son aşamada ise bulunan siyah-beyaz görüntü maske olarak kullanılmış, orijinal (Şekil 4.a) görüntü ile çarpılarak mamografide sadece bir bütün olarak meme dokusu elde edilmiştir (Şekil 4.d).



Şekil 4. a. Etiket ve yapay gürültülü mamogram görüntüsü b. Eşikleme yöntemi ile mamogramın siyah-beyaza dönüştürülmesi c. Etiketlerin ve yapay gürültülerin temizlenmesi d. Temizlenen mamogram görüntüsü.

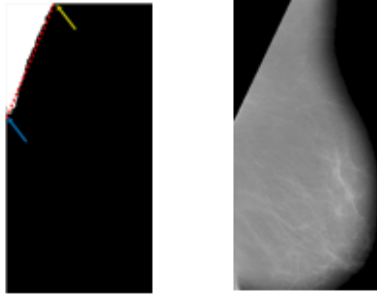
Etiketlerden temizlenen mamogram görüntüsü için bir sonraki önemli adım pektoral kasın temizlenmesidir. Pektoral kas mamogram görüntülerinde memenin sağ ya da sol üst köşesinde yer almaktadır. Fakat MIAS veri tabanındaki mamografi görüntüleri 1024x1024 piksel boyutunda eşitlendiği ve mamogram bu boyutta ortalandığı için pektoral kasın imgenin köşesinde olup olmayacağı bilinmemektedir, çünkü her bir mamogramda bilinmeyen bir pozisyonlandırma ve yerleştirme yapılmıştır. Bu

sebepten dolayı mamogram sadece meme dokusunu ele alacak yani arka plan alanları kesecek şekilde yeniden boyutlanmalıdır (Şekil 5.a- kırmızı çizgili alan). Şekil 5.b haline getirilen imge üst sağ veya sol köşelerde pektoral kası aramak için hazır hale getirilmiştir. Gerekli işlemleri hızlandırmak ve bir standarda kavuşturmak amacı ile görüntü 512x256 piksel boyutlarına indirgenmiştir. Yeniden boyutlandırılan mamografi imgesinde pektoral kas köşede aranabilir.



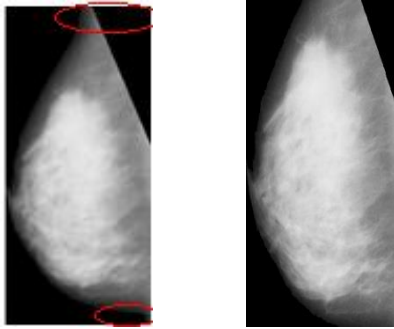
Şekil 5. a. Mamografi arka planının kırılması gereken alan b. Kırılmış meme alanı.

512x256 boyutlu imgede en yüksek yağlık değerlikli alanlar eşikleme yöntemi ile bulunmuş, eşik değerinden küçük pikseller en düşük değere, eşik değeri ve yukarısındaki değerleri ise en yüksek değere atanmıştır. Böylelikle görüntünün ikili sistem bir eşleniği oluşturulmuş ve morfolojik işlemler için hazırlanmıştır. En yüksek yağlık içeren alanlardan pektoral kasa ait olmayan kitle gibi başka yapılar var ise doldurma, aşındırma, yok etme gibi morfolojik işlemlerle elenmiştir. Sonuçta pektoral kas tespit edilmiştir (Şekil 6.a). Pektoral kasın kapladığı uç noktalarındaki piksel koordinatları  $I(x_1, y_1)$  ve  $I(x_2, y_2)$  şeklinde tanımlanmıştır. Bu koordinat noktaları kullanılarak pektoral kasın eğik kenarı doğru denklemi ile düz olarak varsayılmıştır. Düz bir üçgen şekilde elde edilen pektoral kas görüntüsü ile temizlenen 512x256 boyutundaki görüntü maskelenerek pektoral kas temizlenmiş mamogram görüntüsü oluşturulmuştur (Şekil 6.b).



a. b.  
Şekil 6. a. Pektoral kasın koordinatları b. Pektoral kasın temizlenmesi

Pektoral kasın temizlenmesiyle oluşan mamogram görüntüsünde meme altında veya meme üstünde ilgisiz alanlar, boşluklar oluştuğunda (Şekil 7.a) bu alanlar yok edilerek meme görüntüsü elde edilmiştir. Son olarak elde edilen görüntüler tekrar 512x256 boyutuna getirilerek ön işlem aşaması tamamlanmıştır (Şekil 7.b). Ön işleme aşamasında tüm mamografiler birbirleriyle benzer biçime getirilerek özellik çıkarımı ve sınıflandırma için hazır hale getirilmiştir.



a. b.  
Şekil 7. Temizlenen meme alanı b. Yeniden boyutlandırma

### Özellik Çıkarımı

Dokusal özellikler mamogramları sınıflandırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada iyileştirilmiş mamogram görüntülerinden yaygın olarak kullanılan 6 birinci derece dokusal özellik ve 4 ikinci derece dokusal özellik hesaplanmıştır.

#### Birinci derece dokusal özellikler

Birinci derece dokusal özellikler, doğrudan mamogram görüntülerinden hesaplanan,

görüntünün gri seviye histogramının istatistiksel özelliklerine dayalıdır. Bu çalışmada iyileştirilmiş mamogramlardan ortalama, standart sapma, yamukluk, basıklık, homojenlik ve entropi özellikleri çıkarılmıştır.

Bu özellikler;

$$\text{Ortalama;} \quad m = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i \quad (1)$$

$$\text{Standart sapma;} \quad \sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^{L-1} (i-m)^2 p_i} \quad (2)$$

$$\text{Yamukluk;} \quad \frac{1}{\sigma^3} \sum_{i=0}^{L-1} (i-m)^3 p_i \quad (3)$$

$$\text{Basıklık;} \quad \frac{1}{\sigma^4} \sum_{i=0}^{L-1} (i-m)^4 p_i \quad (4)$$

$$\text{Homojenlik;} \quad \sum_{i=1}^{L-1} p_i^2 \quad (5)$$

$$\text{Entropi;} \quad - \sum_{i=0}^{L-1} p_i \log_2 p_i \quad (6)$$

olarak ifade edilmektedir.

Yukarıda verilen eşitliklerde,  $N$  toplam piksel sayısı ve  $L$  görüntüdeki gri seviyelerin sayısı olmak üzere  $\{h_i, i=0,1,\dots,L-1\}$  görüntünün gri seviye histogramını,  $p_i=h_i/N$ ,  $\{p_i, i=0,1,2,\dots,L-1\}$  görüntünün normalize edilmiş histogram kümesini ifade etmektedir (Haralick vd., 1973; Gonzalez ve Woods, 2014).

#### İkinci derece dokusal özellikler

İkinci derece doku hesaplamalar, asıl görüntüden oluşturulan yardımcı matrisler üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla iyileştirilmiş mamogram görüntülerinden gri seviye eş-oluşum matrisi hesaplanmıştır. Gri seviye eş-oluşum matrisi (GSEOM) görüntüyü oluşturan piksellerin ikili komşuluğa göre gri seviyelerinin kombinasyonlarının hangi sıklıkta olduğunun tablolandığı iki boyutlu matristir. Bu matrisi oluşturan değerler üzerinden dokuya özgü hesaplamalar yapılmaktadır (Haralick vd., 1973; Chen vd., 2011).

GSEOM ikinci derece olasılık yoğunluk fonksiyonudur ve  $p(i,j|d, \theta)$  olarak ifade edilir.  $p(i,j|d, \theta)$  uzaklık  $d$  ve açı  $\theta$  iken  $p(i,j)$   $i$  gri seviyesinden  $j$  gri seviyesine geçiş olasılığını

gösterir. İyileştirilmiş mamogram görüntüsünden  $d=1$  ve  $\theta=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  yönelme açıları için dört farklı gri seviye eş oluşum matrisi (GSEOM) hesaplanmıştır. Haralick vd. (1973) GSEOM için 14 özellik önermiştir. Bu çalışmada hesaplanan her bir eş oluşum matrisi için literatürde en yaygın kullanılan karşıtlık, korelasyon, enerji ve homojenlik özellikleri hesaplanmıştır. İşlem karmaşıklığını azaltmak ve özelliklerin açıdan bağımsız olmasını sağlamak amacıyla her 4 farklı matris için hesaplanan özelliklerin ortalaması alınmıştır. Hesaplanan özellikler;

$$\text{Karşıtlık; } \sum_{i,j} |i-j|^2 p_{ij} \quad (7)$$

$$\text{Korelasyon; } \frac{\sum_{i,j} (ij) p_{ij} - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (8)$$

$$\text{Enerji; } \sum_{i,j} p_{ij}^2 \quad (9)$$

$$\text{Homojenlik; } \sum_{i,j} \frac{p_{ij}}{1+|i-j|} \quad (10)$$

olarak ifade edilmektedir.  $\mu_x, \mu_y, \sigma_x$  ve  $\sigma_y$  değerleri  $p_{ij}$ 'nin satır ve sütunlarının ortalaması ve standart sapmasıdır (Haralick vd., 1973; Chen vd., 2011).

### Sınıflandırma

Sınıflandırma adımında mamogramları normal ve anormal olarak sınıflandırmak için en yakın komşuluk yöntemi, destek vektör makineleri ve lineer diskriminant analizi kullanılmıştır.

#### a) k-En yakın Komşuluk Yöntemi (k-EYK)

k-en yakın komşuluk yöntemi (k-EYK); verinin eğitim kümesindeki örneklerle arasındaki benzerliğe bakılarak sınıflandırma gerçekleştiren örnek tabanlı bir sınıflandırıcıdır. Sınıflandırıcı bir verinin hangi sınıfa ait olacağına karar verirken eğitim kümesinden ilgili örneğe en yakın k örnek belirler. Sınıf etiketine en yakın komşuların sınıf etiketlerinin çoğunluk oylamasına göre karar verilir. Çoğunluk oylamasına katılacak olan komşu sayısı (k) sınıflandırıcı performansını önemli ölçüde etkilemektedir (Mitchell, 1997; Han vd., 2006). Bu çalışmada k=3 seçilmiştir.

#### b) Destek Vektör Makinaları (DVM)

Destek vektör makineleri (DVM); istatistiksel öğrenme temeline dayalı bir denetimli öğrenme yöntemidir. Geleneksel öğrenme yöntemlerine göre oldukça avantajlara sahiptir. 1960'lı yılların sonlarında Vapnik tarafından teorik temelleri atılmıştır. 1995 yılında ise yine Vapnik tarafından ilk defa bir sınıflandırma probleminin çözümünde kullanılmıştır (Vapnik, 1998; Zheng ve Xue, 2009). DVM, yapısal risk azaltmaya dayalı veri bölme tabanlı bir öğrenme yöntemi olarak bilinmektedir. DVM'lerin genelleme hataları, verileri ayırdığı sınır genişliği ile ilişkilidir. DVM, sınıflandırma işlevi (hiper-düzlem) yardımıyla veri uzayını bölerek bilinmeyen verilerin sınıf etiketlerini tanımlamaktadır. Bu amaçla DVM, veriyi bölmek için en uygun ayırıcı hiper-düzlemi kullanmaktadır. DVM, el yazısını tanıma, görüntü sınıflandırma, ses tanıma ve biyolojik bilgi işleme gibi birçok uygulama alanına sahiptir (El-Naqa vd., 2002; Zheng ve Xue, 2009; Abe, 2010).

#### b) Lineer Diskriminant Analizi (LDA)

Doğrusal diskriminant analizi (LDA), iki ya da daha fazla sınıfa ait örnekleri ayırmak için doğrusal bir sınıflandırıcı olarak kullanılabilen özelliklerin doğrusal birleşimini bulmaya çalışan bir yöntemdir. Bir başka ifadeyle LDA, sınıfları birbirinden en iyi ayırt eden uzaya ait vektörleri bulmaya çalışır (Panahi vd., 2011; Junoh and Mansor, 2012). Bu yöntem; farklı sınıflara ait veri noktalarını birbirinden uzaklaştıran ve aynı sınıfta bulunan veri noktalarını birbirine yakınlaştıran, mevcut verilerin bileşkesi olan yeni bir değişken üretmektedir. İlk tanımlanan sınıfların yeni değişkene göre aralarındaki farklılıkları maksimumlaştırmayı amaçlar (Fielding, 2007; Panahi vd., 2011; Fraz vd., 2013).

### Uygulama ve Başarımlar

Bu çalışmada birinci ve ikinci derece dokusal özelliklerin, mamogramların normal ve anormal olarak sınıflandırılmasında başarımlar etkileri incelenmiştir.

Ön-işleme adımından sonra elde edilen mamogram görüntülerinden hesaplanan birinci ve ikinci derece dokusal özellikler kullanılarak üç ayrı özellik kümesi oluşturulmuştur. Birinci özellik kümesi, 6 birinci derece, ikinci özellik kümesi 4 ikinci derece, üçüncü özellik kümesi ise 6 birinci ve 4 ikinci derece dokusal özellik olmak üzere toplam 10 özellikten oluşmaktadır.

Çalışmada, 227 mamogram görüntüsü kullanılmıştır. Eğitim seti ve test seti çapraz geçerlilik yöntemi ile belirlenmiştir. Eğitim ve test verileri sayısı Tablo 1’de verilmiştir.

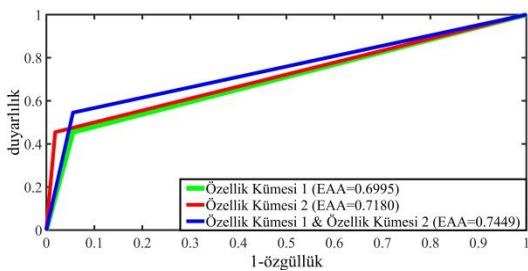
**Tablo 1.** Eğitim ve test verileri

	Normal	Anormal
<b>Eğitim verisi</b>	107	44
<b>Test verisi</b>	54	22
<b>Toplam</b>	151	66

Sınıflandırma aşamasında; oluşturulan üç ayrı özellik kümesi ayrı ayrı olarak k-EYK, DVM, ve LDA sınıflandırıcılarına uygulanarak sınıflandırma gerçekleştirilmiştir ve sonuçları değerlendirilmiştir. Önerilen sistemin performansı işlem karakteristik eğrileri (İKE) ile analiz edilmiştir. Bu çalışmada k=3 seçildiğinde en yüksek sınıflandırma başarımı elde edilmiştir. k-EYK sınıflandırma doğrulukları Tablo 2’de verilmiştir. k-EYK için İKE ve eğri altındaki alan (EAA) değerleri Şekil 8’de verilmiştir.

**Tablo 2.** k-EYK sınıflandırma doğrulukları

Özellik Kümesi	Doğruluk (%)
<b>Özellik kümesi 1</b>	80.26
<b>Özellik kümesi 2</b>	82.89
<b>Özellik kümesi 1 &amp; Özellik kümesi 2</b>	82.89



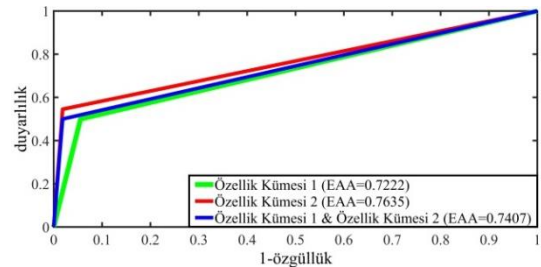
**Şekil 8.** k-EYK için İKE ve eğri altındaki alan (EAA) değerleri

k-EYK sınıflandırıcısı ile en yüksek sınıflandırma doğruluğuna (% 82.89), Özellik Kümesi 2 ve iki özellik kümesinin birlikte kullanıldığı durumlarda ulaşılmıştır. Bu iki özellik kümesi için sınıflandırma doğruluğu eşit olmasına rağmen, EAA değerleri dikkate alındığında iki özellik kümesinin birlikte kullanıldığı durum için daha yüksek değer elde edilmiştir. Bunun nedeni iki özellik kümesinin birlikte kullanıldığı sınıflandırma işleminin duyarlılığının daha yüksek olmasıdır. En düşük sınıflandırma doğruluğu ve en küçük EAA değeri Birinci dereceden dokusal özellikler için elde edilmiştir.

Bu çalışmada DVM için çekirdek olarak, radyal tabanlı çekirdek seçilmiştir. DVM sınıflandırma doğrulukları Tablo 3’de verilmiştir. DVM için İKE ve eğri altındaki alan (EAA) değerleri Şekil 9’da verilmiştir.

**Tablo 3.** DVM sınıflandırma doğrulukları

Özellik Kümesi	Doğruluk (%)
<b>Özellik kümesi 1</b>	81.58
<b>Özellik kümesi 2</b>	85.53
<b>Özellik kümesi 1 &amp; Özellik kümesi 2</b>	84.21



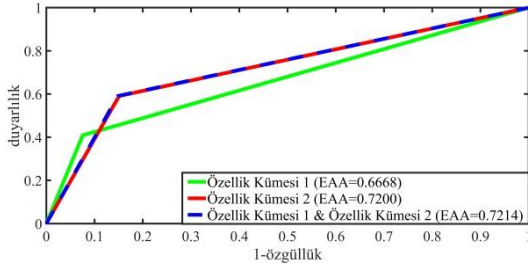
**Şekil 9.** DVM için İKE ve eğri altındaki alan (EAA) değerleri

DVM sınıflandırma sonuçlarına göre, en yüksek sınıflandırma doğruluğuna (% 85.53) ve EAA değerine (0.7635), Özellik Kümesi 2 (ikinci derece dokusal özellikler) ile ulaşılmıştır. En düşük sınıflandırma doğruluğu ve en küçük EAA değeri Birinci dereceden dokusal özellikler için elde edilmiştir.

LDA sınıflandırma doğrulukları Tablo 4’de verilmiştir. LDA için İKE ve eğri altındaki alan (EAA) değerleri Şekil 10’da verilmiştir.

**Tablo 4.** LDA sınıflandırma doğrulukları

Özellik Kümesi	Doğruluk (%)
Özellik kümesi 1	77.33
Özellik kümesi 2	77.33
Özellik kümesi 1 & Özellik kümesi 2	77.63

**Şekil 10.** LDA için İKE ve eğri altındaki alan (EAA) değerleri

LDA sınıflandırıcısı ile en yüksek sınıflandırma doğruluğuna (% 77.63) ve EAA değerine (0.7214) iki özellik kümesinin birlikte kullanıldığı durumda ulaşılmıştır. Birinci ve ikinci derece dokusal özellikler için eşit sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir (%77.33). Ancak anormal mamogram görüntüsü duyarlılığı ikinci derece dokusal özelliklerde daha yüksek olduğu için EAA değeri (0.72) birinci derece dokusal özelliğe (0.6668) göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

## Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada birinci ve ikinci derece dokusal özelliklerin mamogramların sınıflandırılması üzerindeki etkilerini incelemek için bir bilgisayar destekli teşhis sistemi (BDT) tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem ön işleme, özellik çıkarımı ve sınıflandırma olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Ön işleme adımında; ortanca süzgeç ile küçük gürültüler süzülmüştür. Küçük gürültülerden temizlenen görüntüde bulunan etiketler ve yüksek yoğunluk değerine sahip pektoral kas morfolojik işlemler ile temizlenmiştir. Normalizasyon işlemi ile tüm mamogram görüntüleri birbirleriyle benzer biçime getirilerek özellik çıkarımı için hazır hale getirilmiştir.

Ön işlem sonucunda alınan görüntülerden birinci derece ve ikinci derece dokusal özellikler

hesaplanmıştır. Mamogramları normal ve anormal olarak sınıflandırmak için k-EYK, DVM ve LDA yöntemleri kullanılmıştır. k-EYK, DVM ve LDA sınıflandırma sonuçları Tablo 5’de verilmiştir.

**Tablo 5.** k-EYK ve DVM sınıflandırma doğrulukları

Özellik Kümesi	k-EYK Doğruluk (%)	DVM Doğruluk (%)	LDA Doğruluk (%)
Özellik Kümesi 1	80.26	81.58	77.33
Özellik Kümesi 2	82.89	85.53	77.33
Özellik Kümesi 1 & Özellik kümesi 2	82.89	84.21	77.63

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde mamogramları sınıflandırmada, DVM yöntemi k-EYK ve LDA yöntemlerine göre daha başarılıdır. Her üç sınıflandırıcı sonuçları dikkate alındığında, ikinci derece dokusal özelliklerin birinci derece dokusal özelliklere göre daha etkili olduğu görülmektedir.

Literatürdeki çalışmalarda genellikle birinci ve ikinci derece dokusal özellikler birlikte kullanılarak özellik kümeleri oluşturulmuştur. Aynı zamanda birçok çalışmada dokusal özelliklere ek olarak farklı özellik grupları (dalgaçık tabanlı özellikler, spektral özellikler vb.) birlikte değerlendirilmiştir. Bu nedenle birinci ve ikinci derece dokusal özelliklerin sınıflandırma başarımlarını ayrı ayrı değerlendirme imkanı bulunmamaktadır.

Severoğlu (2016), MIAS veri tabanı için 4 birinci derece ve 4 GSEOM özelliği kullanarak sınıflandırma gerçekleştirdiği çalışmasında; birinci derece özellik grubu için DVM ile % 63, GSEOM özellikleri için DVM ile %65 sınıflandırma başarımları elde etmiştir. Özellik gruplarının sınıflandırma başarımları üzerindeki etkileri dikkate alındığında sonuçlar, bu çalışmada elde edilen sonuçları benzerlik göstermektedir. İkinci derece dokusal özelliklerin sınıflandırma başarımlarını artırdığı gözlenmektedir. Bu çalışmada mamogram sınıflandırma işlemi daha yüksek doğrulukla (birinci derece özellik grubu için DVM ile %81.58, ikinci derece özellik grubu için DVM ile %85.53) gerçekleştirilmiştir. Daha yüksek

başarımın elde edilmesinde ön işlem aşamasında; diğer çalışmadan farklı olarak gürültü süzme, pektoral kas temizleme ve normalizasyon işlemlerinin uygulanmasının etkili olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Sonuç olarak, dokusal özelliklerin teşhis uygulamaları için kullanışlı ve etkili olduğu tespit edilmiştir. Ancak özellik seçimi veya boyut azaltımı gerçekleştirilecek uygulamalarda ikinci derece dokusal özelliklere öncelik verilmesinin daha uygun olacağı görülmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma Amasya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir ( Proje Numarası: FMB-BAP 16-0181).

### Kaynaklar

- Abe, S., (2010). *Support Vector Machines for Pattern Classification*, 486, Springer.
- Chen, D. R., Huang, Y. L., ve Lin, S. H., (2011). Computer-aided diagnosis with textural features for breast lesions in sonograms. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, **35**,3, 220-226.
- El-Naqa, I., Yang, Y., Wernick, M. N., Galatsanos, N. P., ve Nishikawa, R. M., (2002). A support vector machine approach for detection of microcalcifications. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, **21**, 12, 1552-1563.
- Fraz, M. M., Remagnino, P., Hoppe, A., & Barman, S. A. (2013, January). Retinal image analysis aimed at extraction of vascular structure using linear discriminant classifier. International Conference on Computer Medical Applications (ICCA), 1-6, Sousse.
- Fielding, A. (2007). *Cluster and classification techniques for the biosciences*, 259, Cambridge University Press, , New York.
- Ganesan, K., Acharya, U. R., Chua, K. C., Min, L. C., ve Abraham, K. T., (2013). Pectoral muscle segmentation: a review. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, **110**,1, 48-57.
- Gonzalez, R. C. ve Woods, R. E., (Z. Telatar, H. Tora, H. Arı, and A. Kalaycıoğlu), *Sayısal Görüntü İşleme*. Ankara: Palme Yayıncılık, 2014.
- Han, J., Kamber, M. Ve Pei, J., (2006). *Data Mining*. 703, Morgan Kaufmann, USA.
- Haralick, R. M., & Shanmugam, K. ve Dinstein, I., (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **SMC-3**, 6, 610-621.
- Junoh, A. K., & Mansor, M. N. (2012). Safety system based on linear discriminant analysis. International Symposium on Instrumentation & Measurement, Sensor Network and Automation (IMSNA), 32-34, Sanya.
- Li, Y., Chen, H., Yang, Y., ve Yang, N., (2013). Pectoral muscle segmentation in mammograms based on homogenous texture and intensity deviation. *Pattern Recognition*, **46**,3, 681-691.
- Mitchell, T. M., (1997). *Machine learning*, 432, McGraw-Hill Education, USA.
- Musta, M., Grgic, M., ve Rangayyan, R. M., (2016). Review of recent advances in segmentation of the breast boundary and the pectoral muscle in mammograms. *Medical & Biological Engineering & Computing*, **54**,7, 1003-1024.
- Pak, F., Kanan, H. R., ve Alikhassi, A., (2015). Breast cancer detection and classification in digital mammography based on Non-Subsampled Contourlet Transform (NSCT) and Super Resolution. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, **122**,2, 89-107.
- Panahi, N., Shayesteh, M. G., Mihandoost, S., & Varghahan, B. Z. (2011). Recognition of different datasets using PCA, LDA, and various classifiers. 5th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), 1-5, Baku.
- Sahiner, B., Chan, H. P., Petrick, N., Wei, D., Helvie, M. A., Adler, D. D., ve Goodsitt, M. M., (1996). Classification of mass and normal breast tissue: a convolution neural network classifier with spatial domain and texture images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, **15**,5, 598-610.
- Saltanat, N., Hossain, M. A., ve Alam, M. S., (2010). An efficient pixel value based mapping scheme to delineate pectoral muscle from mammograms. IEEE Fifth International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA), 1510-1517, Changsha.
- Severoğlu, N. (2016). Mammogram images classification using Gray Level Co-occurrence Matrices. 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), 1781-1784, Zonguldak.



- Sreedevi, S., ve Sherly, E., (2015). A novel approach for removal of pectoral muscles in digital mammogram. *Procedia Computer Science*, **46**, 1724-1731.
- Suckling, J., Parker, J., Dance, D.R., Astley, S., Hutt, I., Boggis, C. R. M., Ricketts, I., Stamatakis, E., Cerneaz, N., Kok, S.L., Taylor, P., Betal, D., ve Savage, J., (1994). The mammographic image analysis society digital mammogram database. *Exerpta Medica. International Congress Series* 1069, 375-378.
- Vapnik, V. N., (1998), *Statistical Learning Theory*, 736, Wiley-Interscience Publication.
- Wei, D., Chan, H.P., Helvie, M.A., Sahiner, B., Petrick, N., Adler, D.D., ve G. M.M., (1995). Classification of mass and normal breast tissue on digital mammograms: multiresolution texture analysis. *Medical Physics*, **22**, 1501-1513.
- Zheng, J. ve Xue, N., (2009) *Advances in Pattern Recognition*, 365, Springer.
- Zheng, Y., Keller, B. M., Ray, S., Wang, Y., Conant, E. F., Gee, J. C., ve Kontos, D., (2015). Parenchymal texture analysis in digital mammography: a fully automated pipeline for breast cancer risk assessment. *Medical physics*, **42**, 7, 4149-4160.

## The Effects Of Textural Features On Mammograms Classification

### Extended abstract

Textural features are widely used to classify mammographic images. The aim of this paper is to investigate the first order and second order textural features' effects in mammograms classification. For this motivation, firstly computer-aided diagnosis (CAD) system is designed. Computer-aided diagnosis system basically is to purpose enhance and support the diagnose accuracy. The designed system consists of preprocessing, feature extraction and classification steps. In this study, MIAS database is used.

In preprocessing step, firstly noise and label are removed. A (3x3) median filter is used to eliminate small noises. After smoothing images, the radiopaque artifact noises such as labels, numbers, words and flashing lights are removed by morphological operators. Then pectoral muscle removal and image enhancement are implemented. Pectoral muscle is segmented and removed by threshold techniques and black and white morphological operations. Mammographic images are normalized to make them ready for feature extraction.

In feature extraction step, first order and second order textural features are calculated from enhanced mammographic images. 6 first order textural features are mean, standard deviation, skewness, kurtosis, uniformity, and entropy. 4 features extracted for calculated each gray level co-occurrence matrix (GLCM). We averaged these features. These features are contrast, correlation, energy, and homogeneity.

In this paper; three features sets are generated. First feature set contains first order textural features. Second feature set contains second order textural features. Third feature set contains both first order and second order textural features.

In the last step, mammographic images are classified into normal and abnormal by k- nearest neighbor (k-NN), support vector machines (SVM), and Linear Discriminant Analysis (LDA) methods. Classification is performed for all possible combinations of generated feature sets separately.

The classification results are evaluated and compared.

For k-NN classifier the Feature set 2 (second order textural features) yields better results than the Feature set 1 (first order textural features). The highest classification accuracy (82.89%) with the k-NN classifier was achieved when Feature Set 2 and two feature sets were used together. The lowest classification accuracy and the smallest AUC value were obtained for first order textural features.

According to SVM classification results, the highest classification accuracy (85.53%) and AUC value (0.7635) were achieved with Feature Set 2 (second order textural features). The lowest classification accuracy and the smallest AUC value were obtained for first order textural features.

LDA has reached best classification performance (77.63%) and AUC value (0.7214) for both first order and second order textural features. Equal classification accuracy (77.33%) was obtained for first and second order textural features. However second order textural feature set is more sensitive than first order textural feature set for abnormal mammographic image. Second order textural features have higher AUC value than first order textural features.

LDA achieves 77.63%, k-NN achieves 82.89%, and SVM achieves 85.53%. According to classification results, SVM performs better than k-NN and LDA. Experimental results demonstrate that the proposed CAD system obtained best diagnostic performance with second order textural features. Second order textural features outperformed first order textural features to classify mammographic images into normal and abnormal.

Simulation results indicate that textural features are useful for the diagnostic application.

**Keywords:** Mammography, textural features, computer-aided diagnosis, classification



## Adaptif Huzme Yönlendirmeli 7 Elemanlı ETPID Anten Tasarımı

**Peyman MAHOUTI\***

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul  
[pmahouti@yildiz.edu.tr](mailto:pmahouti@yildiz.edu.tr) ORCID: 0000-0002-3351-4433, Tel: (212) 283 59 22)

**Mehmet Ali BELEN**

Artvin Çoruh Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Artvin  
[mehmetalibelen@artvin.edu.tr](mailto:mehmetalibelen@artvin.edu.tr) ORCID: 0000-0001-5588-9407

**Samet ALTUNALEV**

İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, İstanbul  
[altunalev55@gmail.com](mailto:altunalev55@gmail.com) ORCID: 0000-0003-2436-9948

Geliş: 12.03.2018, Kabul Tarihi: 28.05.2018

### Öz

Modern haberleşme sistemlerinin en önemli özelliklerinden biri elektronik tarama yeteneğidir. Günümüzde haberleşme uygulamalarında frekans tarama, zaman gecikmeli tarama, faz tarama gibi elektronik tarama yöntemleri kullanılır, ayrıca yeni ve daha ucuz elektronik tarama yöntemleri için araştırmalar devam etmektedir. Bu çalışma kapsamında elektronik huzme yönlendirme özelliğine sahip Elektriksel Taramalı Pasif Işımalı Dizi (ETPID, Electrically Steerable Passive Array Radiator ESPAR) tabanlı akıllı anten sisteminin tasarımı ve donanım imalatı gerçekleştirilmiştir. Anten tasarımı, tasarım parametrelerinin tanımlarını, benzetim sonuçlarını, üretimi ve ölçüm sonuçlarını içerir. Yedi elemanlı ETPID anteni, aktif merkez elemanı ve altı adet pasif eleman ile tasarlanmıştır. Paraziter elemanlara varikap diyotlar yüklenirken, pasif dipol elemanlarının reaktans yüklerinin değerleri değiştirilerek azami (maksimum) kazanç istenilen yöne kolayca yönlendirilir. Parazitik elemanların reaktans yüklerinden birinin kontrol edildiği banttaki tüm frekanslar için aynı desen yönlendirmesi vardır. Yedi Elemanlı ETPID anteni, dinamik ışın yönlendirme yeteneğine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Theta ve phi'nin belirtilen yönlerinde 7dB kazanç elde edilmiştir. 10 GHz operasyon frekansı için tasarlanan antenin bant genişliği 450 MHz'dir ve ışın 360 derece yönlendirmiştir. Değişken kapasiteler kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda, varaktör diyotların kapasite değişimi ile elektronik huzme tarama gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dizi anten; Huzme yönlendirme; Akıllı anten; ETPID;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Akıllı antenler, SIMO (tek girişli, çoklu çıkışlı), MISO (çoklu giriş, tek çıkışlı) ve MIMO (çoklu girişli, çoklu çıkış) olmak üzere üç ana kategoriye ayrılır. Günümüz sistemlerinde bu antenler çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Akıllı antenler, huzme genişliğini kontrol etmek ve huzme yönünü çevreye uygun olarak düzenlemek için kullanılır. Bunun için akıllı anten sistemleri temel olarak, anahtarlanmış ışınım ve uyarlamalı dizi sistemleri olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Her iki sistem de kullanıcı yönündeki kazancı artırmaya çalışsa da sadece uyarlamalı sistem, aynı anda tanıma, izleme ve girişim azaltma işlemlerini yaparak en iyi dizi kazancını sağlar. Akıllı antenler, antenin istenilen ışınımını ve örüntüsünü düzenleyerek haberleşme imkânı sunmaktadır (Liberti, 1999).

Mobil terminallerde antenin boyutu ve taşınabilirliği temel ihtiyaçtır. Kablosuz haberleşme pazarının hızlı gelişimi daha iyi bir performans için yeni teknolojilerin geliştirilmesine ve uygun spektrumun etkili biçimde kullanılmasına ihtiyaç duyar. Kanalların tekrar kullanımına izin verilmesi ve sistem performansının artırılması ile bu ihtiyacın karşılanması, kontrol edilebilir yönlü akıllı antenler ile sağlanmaktadır. Genellikle, her bir eleman radyasyon ışınması ve boşluklar oluşturmak için bilgi sinyalinin farklı fazları ile harekete geçirilirler. Fakat mobil haberleşme sistemlerindeki doğal karmaşıklık üretilen büyük kablosuz haberleşme ürünlerinde klasik adaptif dizilerin kullanımını kısıtlar. Elektriksel yönlendirilebilir veya anahtarlanabilir parazit anten dizileri bu sorunu giderebilirler. Fazlı dizi antenler de kullanılabilir. Ancak faz dizi antenler bir ara elemana ihtiyaç duyarlar. Bu da boyutun büyümesi, maliyetin artması anlamına gelir. Çözüm olarak, elektriksel yönlendirici antenler tercih edilir.  $0.5 \lambda_0$  dalga boyundan daha büyük dalga boyuna sahip olan ETPID antende elemanlar arası uzaklık  $0.25 \lambda_0$  dalga boyuna azaltılabilir. ETPID anten ışınmayı tasarlanan alıcıya ve ışınma boşluklarını girişim sinyallerine yönlendirebilir.

ETPID antenler, tek bir aktif anten elemanından ve belirli bir geometrik düzenlemede (doğrusal, dairesel vb.) birkaç parazitik dizi elemanından oluşurlar (Harrinton, 1978; Ohiro, 2000). Literatürde tel monopol antenler (Anbaran, 2015; Liu, 2012) ve baskılı antenler (Alrabadi, 2012, Yousefbei, 2014) kullanılarak çok sayıda ETPID anteni önerilmiştir. Özellikle düşük profilli baskılı anten tasarımları ile çalışanlar, baskılı dipollere (Alrabadi, 2012), monopole (Sawaya, 2004), slotlara (Petit, 2006), baskılı yamalara (Zhang, 2004; Preston, 1997) ve PIFA'lara (Islam, 2010) ayrılır. Dipol, yama ve slot antenleri, monopol antenlerinin iki katı büyüklüğünde olan yarı dalga boyunun teorik elektriksel uzunluğuna sahiptirler.

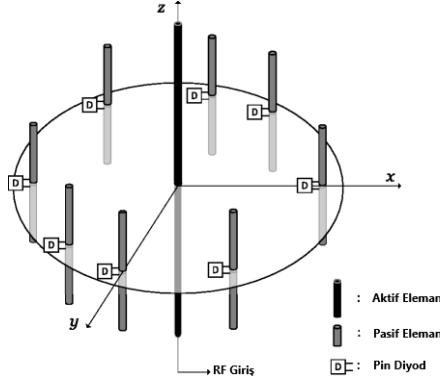
ETPID anten modeli, basit yapısıyla ve düşük üretim maliyetiyle adaptif huzme yönlendirme sunmaktadır (Cheng, 2002; Gyoda, 2000). Düşük maliyeti, istikrarlı performansı, basit yapısı ve analog ayarlamalı reaktans kontrolü özelliklerinden dolayı oldukça yaygındır. Genellikle, ETPID anten dizisi bir merkezi aktif elemandan ve N yüklü parazitik elemanlardan oluşur. Merkezi aktif bir eleman, simetrik N yüklü parazitik elemanlarla çevrilidir. Her bir parazitik eleman, beklenen ışınma modeli oluşturmak için isteğe bağlı yüklerle bağlanmaktadır (Jiawen, 2012; Dimousios, 2008). Elektriksel kontrollü yapısı ile ihtiyaç durumunda parazitik elemanların değerleri değiştirilir. Bu aşamada düşük güç tüketimi gerçekleşir. Huzme taramalı antenler ile kıyaslandığında ise güç tüketimi yönünden avantajlıdırlar. Işınma örüntüsünü değiştirmek için varaktörlerin reaktans dizileri değiştirilir. Düşük güç tüketimli ETPID antenler baskı devreler üzerine kurulabilir ve çok düşük maliyetle üretilebilir. Bu çalışma kapsamında elektronik huzme yönlendirme özelliğine sahip ETPID tabanlı akıllı anten sisteminin tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Anten tasarımı, anten parametrelerinin belirlenmesi ile antenin benzetim sonuçlarını ve üretimini içermektedir. Yedi elemanlı ETPID anteni, aktif merkez elemanı ve altı adet pasif elemanı ile tasarlanmıştır. Parazitik elemanlara varikap diyotlar yüklenirken varikap diyotlar, pasif dipol

elemanlarının reaktans yük değerlerini değiştirerek azami (maksimum) yönlendirmeyi değiştirmek üzere kolayca kontrol edilebilir. Parazitik elemanlar reaktans yüklerinden birinin kontrol edildiği banttaki tüm frekanslar için ışına desenine sahiptir.

## Anten Tasarımı

ETPID antenler yönsüz antenlerden daha yüksek kazançlı olarak tasarlanmıştır. İstenen ortamla uyum içerisinde ışına örüntüsü çeşitliliğine sahiptirler. Bu özellikleri sebebiyle ETPID antenlerin kullanımı sayesinde SNR iyileştirilebilir. ETPID antenler faz kaydırıcı içermez. Bu yüzden parazitik dizi antenler için üretim maliyeti fazlı dizi antenlerle karşılaştırıldığında daha az olur. Her bir elemanın birbirinden uzaklığı  $\lambda_0/4$  olur. ETPID anten biri merkezde olmak üzere dairesel simetrik bir şekilde dizi haline getirilmiş monopul veya dipol antenlerden oluşur. Merkezdeki anten beslenerek aktif anten görevi yapması sağlanır. Çevredeki antenlere ise değişik reaktans elemanları bağlanarak parazit ışına görevi yapmaları sağlanır. ETPID anten, adaptif dizi anten veya değişik açılı anten olarak düşük maliyetli çözüm sağlar.

Şekil 1'de ETPID Anten modeli verilmektedir. ETPID anteni oluşturan elemanlar monopul veya dipol olabilir fakat boşluk  $0.25 \lambda_0$  boyu olmalıdır. Besleme elemanı sıfırdan farklı olmak zorundadır. Parazit antenlerin altında ise değişken reaktans elemanları bulunmalıdır.



Şekil 1. Sekiz Elemanlı ETPID anten (Ilsoo 2016)

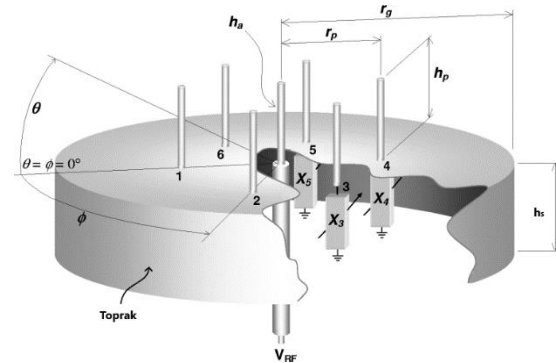
ETPID antenlerin ışına paternleri parazitik elemanların rekatif değerlere (varikap diyotların farklı gerilim değeri verilmesi) sahip olması ile

yönlendirilir. Bu nedenle, RF anahtarlar bu sistemlerde kullanılmaz. Bu değişikliği sağlamak için genellikle varaktör diyotlar kullanılır. Varaktörün avantajı diğer reaktif elemanlara göre daha ucuz olmasıdır. Bu çalışmada SMV1247-079 varaktör diyotu kullanılmıştır. SMV1247-079 diyotu silikon yapıları bir anlık jonksiyon ayarlamalı varaktör diyottur.

## Tasarım Parametreleri

İlk aşamada anten tasarımının önemli parametreleri incelenmiştir. Bu parametreler; antenin giriş empedansı, etkin yüzeyi, duran dalga oranı, ışına gücü ve direnci, polarizasyon, ışına örüntüsü, yönlendiriciliği, kazanç faktörü ve demet genişliği başlıkları altında toplanmıştır.

Antenin zemin yapısı silindirikdir. Bu sayede monopul antenler kullanılabilir. Çünkü monopul antenler, zemin yapısının altında sanal bir monopul antene sahipmiş gibi çalıştığından dipol antenlerin işlevini yerine getirir. Böylece dipol antenlere yani zeminin altına da monopul anten eklemeye gerek kalmadan antenin tasarımı gerçekleştirilebilir. Bu yapı antenin besleme ve kontrol devre parçaları için pratiklik, taşıma kolaylığı ve mekanik gürültü sorununun çözümünü sağlar. 7 elemanlı ETPID antenin parametreleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. ETPID anten elemanları ve boyutları (Schlub,2003)

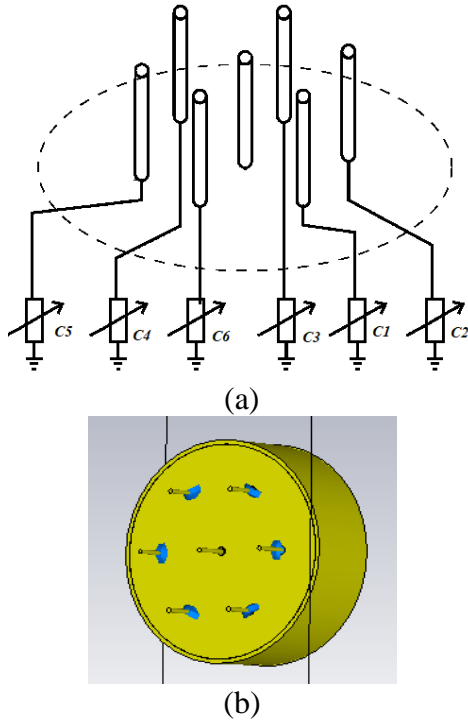
Şekil 2'de zemine dairesel olarak altmış derece aralıklarla simetrik şekilde altı tane  $h_p$  uzunluğunda ve zeminin merkezinde de bir tane  $h_a$  uzunluğunda olmak üzere yedi tane monopul anten vardır. Bu monopollerden merkezde olanı besleme elemanı iken çevrede bulunanları ise parazit elemanlarıdır. Zeminin etek uzunluğu  $h_s$

ile zeminin yarıçapı  $r_g$  ile, parazit elemanların merkeze olan uzaklığı yani parazit yarıçap  $r_p$  ile gösterilir. Tablo 1'de tasarım parametreleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Parametre Listesi

DEĞİŞKEN	UZUNLUK (MM)	DEĞİŞKEN	UZUNLUK (MM)
HP	31	HA	16
RP	24	RG	30
RCOP	1	TOPRAK KISMI HS	15

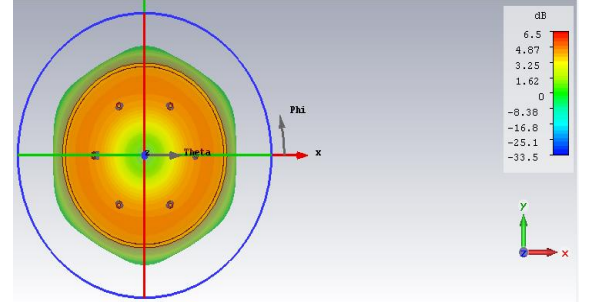
Şekil 3 (a)'da varikap diyotların yerleşimi verilmiştir. Varikap diyotları kapasite değerleri  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  ve  $C_6$  olarak gösterilmiştir. Yedi elemanlı ETPID antenin tasarımı şekil 3 (b)'de gösterilmiştir. Simülasyonda  $C_1$  kapasitesine 0.25 pF, diğer kapasitelerse 10 pF değeri verilerek simülasyon gerçekleştirilmiştir.



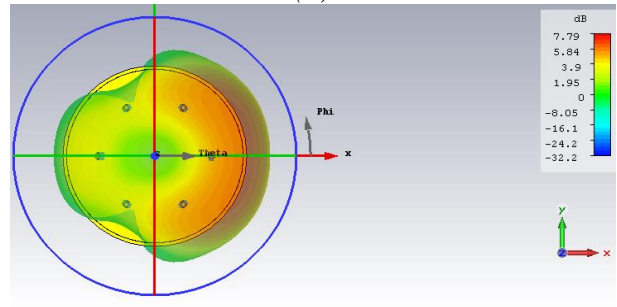
Şekil 3. (a) Varikap diyot yerleşimi, (b) Yedi elemanlı ETPID anten tasarımı

Kapasite değerlerinin hepsinin aynı olduğu durum referans kabul edilerek sadece  $C_1$  kapasitesine farklı değerler verildiğinde bir kapasitenin değişiminin yönlendirmeye olan etkisi incelenmiştir. Şekil 4'te parazitik

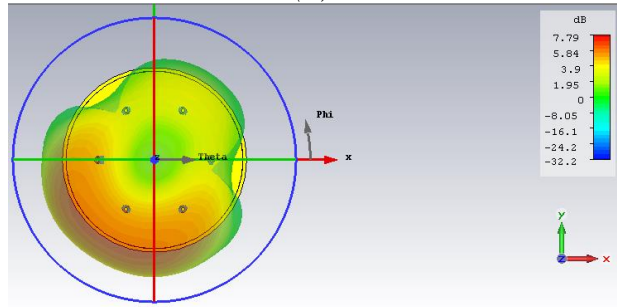
elemanların kapasite değişimleri incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarından anlaşılacağı üzere, aynı kapasite değerinin sırayla uygulanması ile huzme tarama gerçekleştirilirken huzme genişliği ve anten kazancı değişmemektedir.



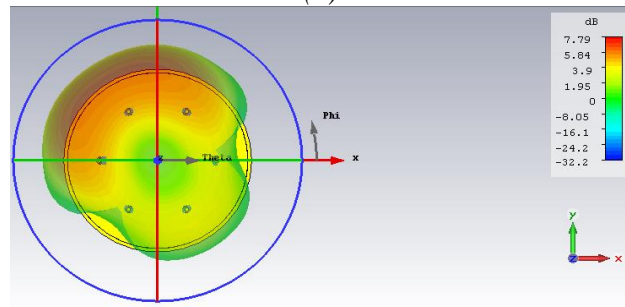
(a)



(b)



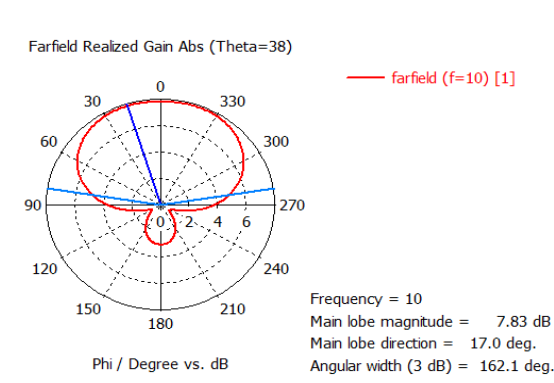
(c)



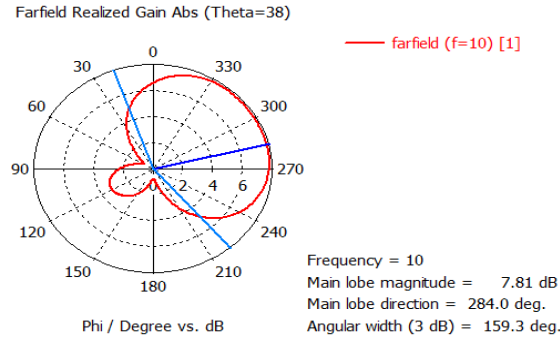
(d)

Şekil 4. a) Tüm kapasiteler 10pF b)  $C_1=0.25$  pF c)  $C_3=0.25$  pF d)  $C_5=0.25$  pF

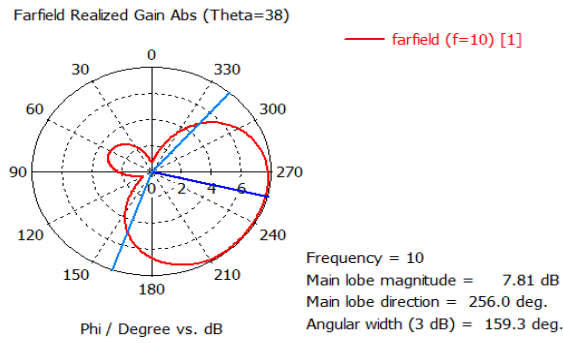
Şekil 5'te antenin polar gösterimi incelenmiştir. 3dB bant genişliği  $160^\circ$  ve ana lob kazancı 7.8dB seviyelerinde elde edilmiştir



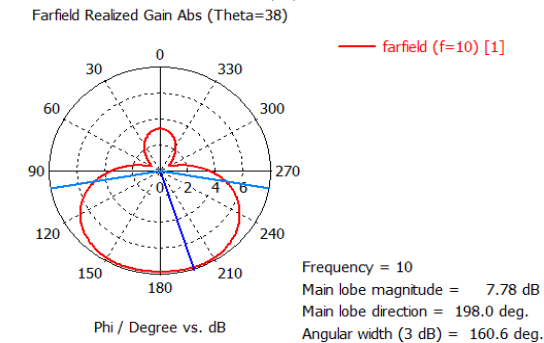
(a)



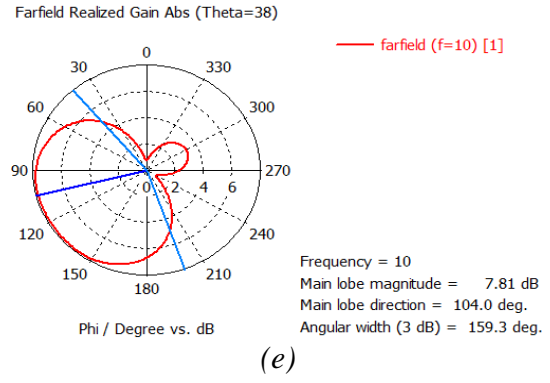
(b)



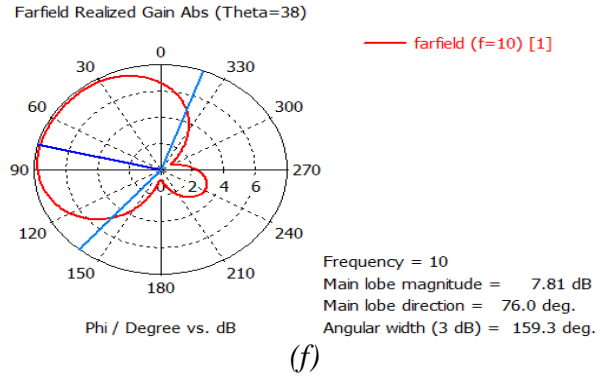
(c)



(d)



(e)



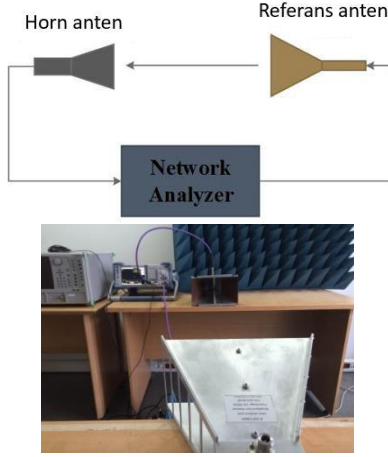
(f)

Şekil 5. Yönlendirici elemanın değer değişiminin yönlendirmeye etkisi (a)  $C_1=0.25$  pF b)  $C_2=0.25$  pF c)  $C_3=0.25$  pF d)  $C_4=0.25$  pF e)  $C_5=0.25$  pF f)  $C_6=0.25$  pF

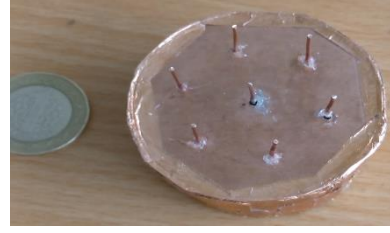
## Anten Üretimi ve Ölçümü

Monopol kutup elemanları alüminyum zemin üzerine yerleştirilmiştir. EM dalgaları zeminden yansımaktadır. Yedi tane dipol elemanı kullanmak yerine bir zemin yapısına monte edilmiş yedi monopol eleman kullanılmıştır. Anten tasarımındaki önemli parametreler incelenmiştir; antenin giriş empedansı, etkin yüzeyi, duran dalga oranı, ışınma gücü, polarizasyon, ışınma örüntüsü, kazancı, huzme genişliği. Teorik tasarımlar ve simülasyonlar aracılığıyla mikroşerit anten parametreleri ve besleme şekilleri incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda, CST simülasyonu programı ile benzetimleri ve optimizasyonu yapılan anten üretilmiş, ölçümleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Antenin empedans uyumu, geridönüş kaybı  $S_{11}$ , ışınma örüntüsü ve kazancı ölçülmüştür. Elde edilen sonuçların benzetimler ile uyumlu ve tutarlı olduğu görülmüştür. Bu bölümde, üretilen ETPID modülünün (şekil 7) geri yansıma katsayısı ( $S_{11}$ ),

ve ışınma paterni şekil 6'daki ölçüm düzeneği kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümlerde referans anten olarak 0.8-18GHz arasında çalışan dual ridged horn anten kullanılmıştır (A-info, lb8180).



Şekil 6. Ölçüm Düzeneği ve Laboratuvar Ortamında ölçüm kurulumu

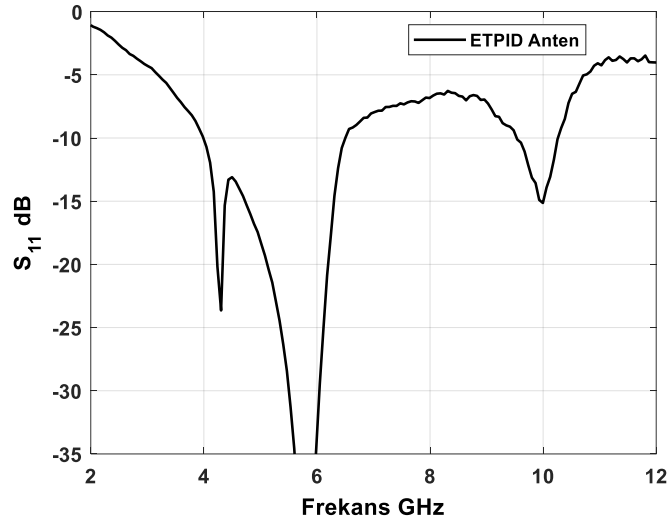


Şekil 7. Tasarlanan yedi elemanlı ETPID anten

## Sonuçlar ve Tartışma

Modern haberleşme sistemlerinin önemli özelliklerinden biri elektronik tarama yeteneğidir. Bu çalışma kapsamında elektronik huzme yönlendirme özelliğine sahip Elektriksel Taramalı Pasif Işımalı Dizi (ETPID) tabanlı akıllı anten tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir.

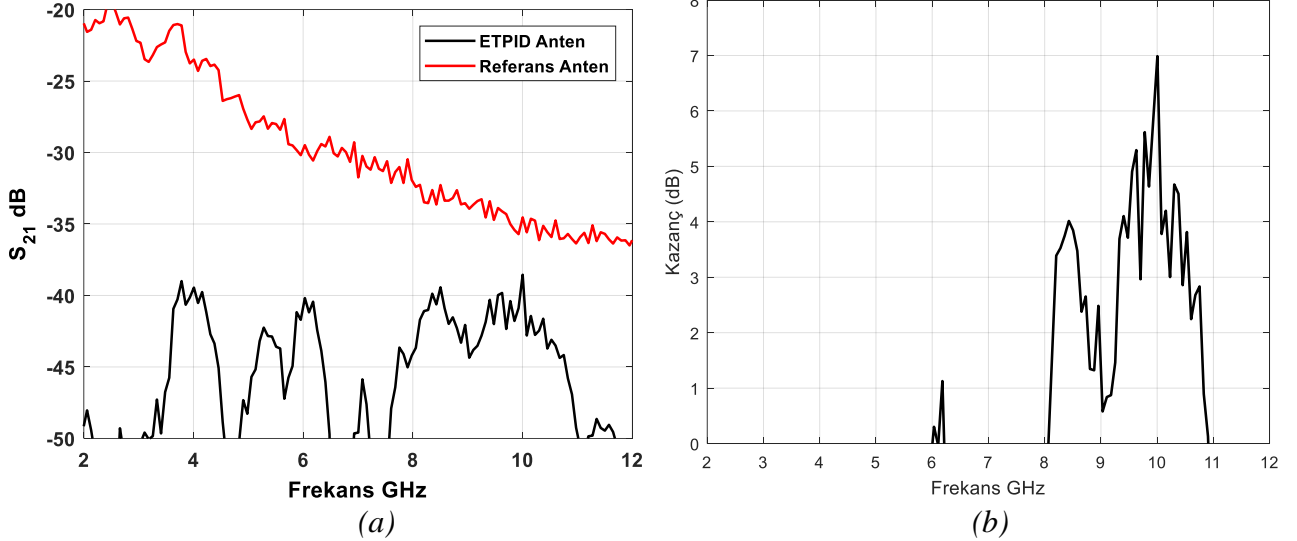
Şekil 8'de üretilen antenin geri dönüş kaybı ölçülmüştür. 10GHz rezonans frekansında  $S_{11}$  değeri -15dB ölçülmüştür. Antenin -10dB band genişliği 450MHz olarak ölçülmüştür.



Şekil 8. Geri Dönüş Kaybı ( $S_{11}$ ) Ölçüm Sonucu

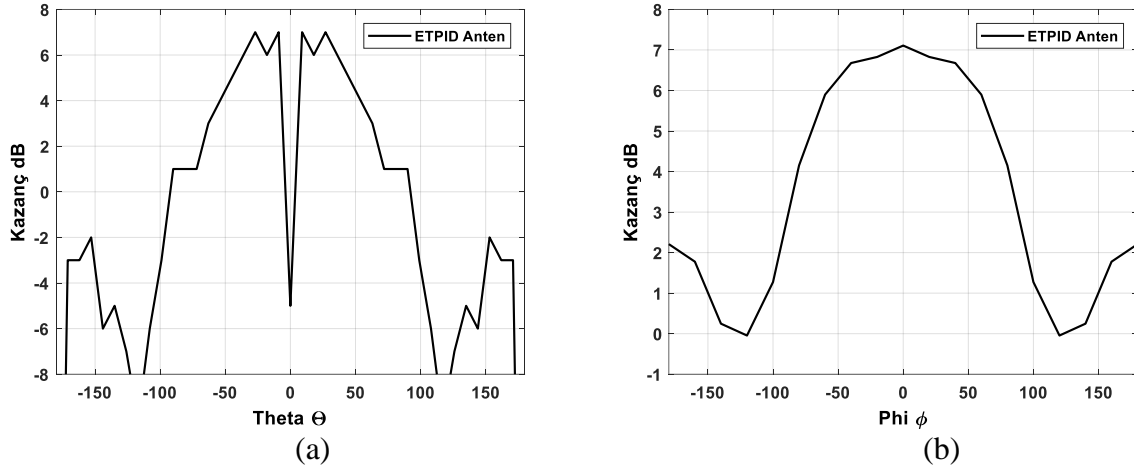
Şekil 9 (a)'da üretilen antenin iletim karakteristiği referans anten ile birlikte verilmiştir. Şekil 9 (b)'de ise reaktif eleman değerleri 0.25pF olarak ayarlanıp referans antene göre maksimum kazanç ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda antenin 7dB kazanç elde edilmiştir.





Şekil 9. ETPID antenin (a) İletim Karakteristiği ( $S_{21}$ ) (b) Maksimum kazanç (Reaktif Eleman Değerleri Aynı)

Şekil 10'da Theta ve Phi yönlerinde antenin pateni verilmiştir. Theta düzleminde  $0^0$  yönünde anten ışıma yapmamaktadır. Phi  $0^0$  yönünde ise 7dB lik kazanç sahiptir.



Şekil 10. ETPID antenin (a) Theta Düzleminde Kazanç Ölçümü (b)Phi Düzleminde Kazanç Ölçümü (Reaktif elemanlar  $C1: 0.25pF$ ,  $C2=C3=C4=C5=C6:10pF$ )

Sonuç olarak yedi elemanlı ETPID anteni, aktif merkez elemanı ve altı adet pasif eleman ile tasarlanmıştır. Değişken kapasiteler kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda, pasif dipol elemanlarının reaktans yüklerinin değerlerini değiştirerek maksimum yönlendirmeyi değiştirmek üzere kolayca kontrol edilebildiği gözlenmiştir. Theta ve phi'nin belirtilen yönlerinde 7dB kazanç elde edilmiştir. Tasarlanan antenin bant genişliği 450 MHz'dir ve huzmesi  $360^0$  yönlendirilebilmektedir. Değişken kapasiteler kullanılarak yapılan ölçümler

sonucunda, varaktör diyotların kapasite değişimi ile elektronik huzme tarama gerçekleştirilmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Artvin Çoruh Üniversitesi BAP 2017.F14.02.01 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- Alrabadi, O.N., Perruisseau-Carrier, J., Kalis, A.(2012). MIMO transmission using a single RF source: theory and antenna design, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 60, (2), pp. 654–664.
- Anbaran, A.G., Mohammadi, A., Abdipour, A. (2015). Capacity enhancement of ad hoc networks using a new single-RF compact beamforming scheme, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 63, (11), pp. 5026–503.
- A-info, lb8180, 0.8-18 Ghz broadband horn antenna available at: [http://www.ainfoinc.com/en/p\\_ant\\_h\\_brd.asp](http://www.ainfoinc.com/en/p_ant_h_brd.asp)
- Cheng, J., Hashiguchi, M., Iigusa, K., Ohira, T., (2002). Electronically steerable parasitic array radiator antenna for omnidirectional sector pattern forming applications to wireless ad hoc networks, *IEE Proceedings online*, no. 20030548 doi:10.1049/ipmap: 20030548.
- Dimousios, T. D., Tsitouri, C. I., Panagiotou, S. C., Capsalis, C. N., (2008). Design and Optimization of a Multipurpose Tri-band Electronically Steerable Parasitic Array Radiator (ESPAR) Antenna with Steerable-Beam-Pattern for Maximum Directionality at the Frequencies of 1.8, 1.9 and 2.4 GHz with the Aid of Genetic Algorithms,” *Loughborough Antennas & Propagation Conference*, pp. 253-256.
- Gyoda, K., Ohira,., (2000). Design of Electronically Steerable Passive Array Radiator (ESPAR) Antennas, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 2, pp. 922-925.
- Ilsoo, S., Gwak, D. (2016). Single-RF MIMO-OFDM system with beam switching antenna, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*.
- Islam, M.R., Ali, M.(2010). ‘Elevation plane beam scanning of a novel parasitic array radiator antenna for 1900MHz mobile handheld terminals’, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2010, 58, (10), pp. 3344–3352
- Liberti, J.C., Rappaport, T.S.,(1999). *Smart Antennas for Wireless Communications, IS-95 and Third Generation CDMA Applications*, P. Hall PTR.
- Liu, H.T., Gao, S., Loh, T.H.(2012). Electrically small and low cost smart antenna for wireless communication, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, , 60, (3), pp. 1540–1549
- Petit, L., Dussopt, L., Laheurte, J.M. (2006). MEMS-switched parasitic-antenna array for radiation pattern diversity, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 54, (9), pp. 2624–2631
- Preston, S.L., Thiel, D.V., Lu, J.W., et al.(1997). Electronic beam steering using switched parasitic patch elements, *IET Electron. Lett.*, 33, (1), pp. 7–8
- Sawaya, T., Iigusa, K., Taromaru, M., et al. (2004). Reactance diversity: proof-of-concept experiments in an indoor multipath-fading environment with a 5-GHz prototype planar ESPAR antenna. *Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conf., CCNC, Jan 2004*, pp. 678–680
- Schlub, R., Lu, J., Ohira, T. (2003). Seven-Element Ground Skirt Monopole ESPAR Antenna Design From a Genetic Algorithm and the Finite Element Method, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 51(11),3033-3039.
- Sun, J., Chen, W., Wang, X., Jiang, W., Feng, Z., (2012). Design and preliminary analysis of a pattern reconfigurable terminal MIMO antenna for receiving antenna selection, *ICMMT2012*, pp.1737-1740.
- Yousefbeiki, M., Perruisseau-Carrier, J. (2014). Towards compact and frequency-tunable antenna solutions for MIMO transmission with a single RF chain, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2014, 62, (3), pp. 1065–1073
- Zhang, S., Huff, G.H., Feng, J., et al.(2004). A pattern reconfigurable microstrip parasitic array, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 52, (10), pp. 2773–2776

## Design of 7 Element ESPAR Antenna for Adaptive Pattern Steering

### Extended abstract

Electronically Steering is one of the important specs in modern communication system. In today's modern communication applications the phase scanning, time delay scanning, frequency scanning technique are most commonly used electronically scanning techniques, but also there are many research in this field to find a novel scanning method with less cost. Herein the design and realization of Electrically Steerable Passive Array Radiator (ESPAR) antenna structures had been studied. The work is consisting of antenna design, definition of design parameters simulation and experimental results. The 7 element ESPAR design has six passives and one active element. By using varicap diode the reactance value of the passive dipole elements are changed which allows a change of direction in the maximum propagation direction of the antenna in any frequency within the operation bandwidth without any distortion in the radiation pattern of the antenna. The antenna has a gain of 7 dB in the selected Theta and Phi directions. The antenna designed for 10 GHz applications has an operation bandwidth of 450 MHz with 360 degree steering ability. In Figs. 6-7 the measurement setup and the prototyped 7 element ESPAR antenna are given.

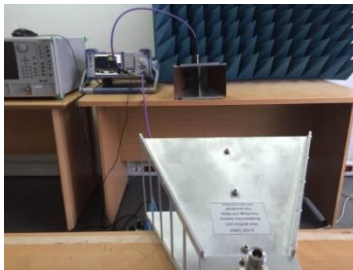


Figure 6. Measurement setup



Figure 7. the proposed prototyped 7 element ESPAR antenna

In Figs 8 & 10 the measurement results of the ESPAR antenna had been given. As it can be seen from the

measurement results of both return loss and gain characteristics of the ESPAR antenna, it is possible to easily steer the main beam of the antenna in any requested direction.

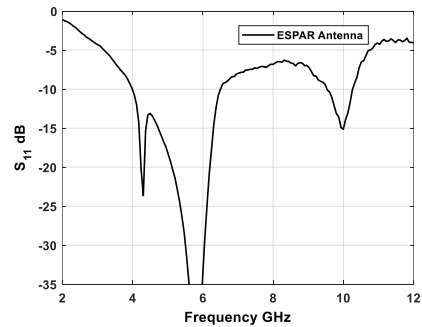


Fig. 8 Measured results of Return Loss ( $S_{11}$ )

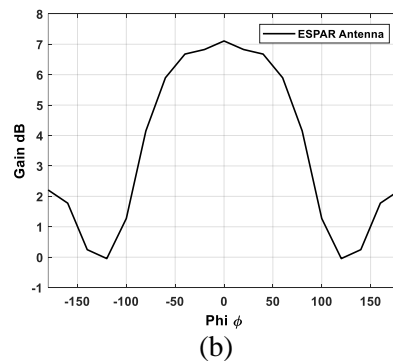
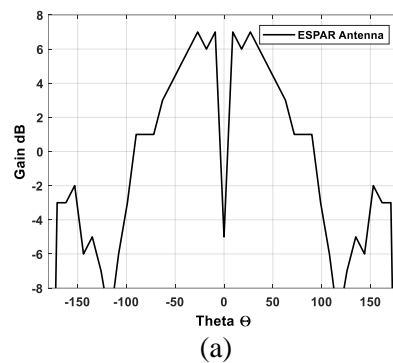


Fig. 10. Measured gain of the 7 element ESPAR antenna (a) at theta axis (b) phi Axis ( $C1: 0.25\text{pF}$ ,  $C2=C3=C4=C5=C6: 10\text{pF}$ )

As it can be seen from the measurement results the change of reactance of the passive dipole elements allows steering in the maximum gain direction of the design over operation band. The proposed 7 element ESPAR antenna design achieves a performance of 7 dB maximum gain with 360° steerable gain at 10GHz with bandwidth of 450MHz.

**Keywords:** Array antenna, Pattern steering, Smart antenna, ESPAR



## Türkçe Köşe Yazılarında Yapay Sinir Ağlarıyla Yazar ve Gazete Tahmin Etme

**Emrah Aydemir\***

*Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kırşehir*

[emrah.aydemir@ahievran.edu.tr](mailto:emrah.aydemir@ahievran.edu.tr) ORCID: 0000-0002-8380-7891, Tel: (0386) 280 38 00 (6056)

Geliş: 21.05.2018, Kabul Tarihi: 31.05.2018

### Öz

*Doğal dil işleme alanı doküman sınıflandırma ve doğrulama işlemleri ile ilgilenmektedir. Bir metnin yazarı tespit edilmek istenirse kuşkusuz en önemli unsur kullanılacak özelliklerdir ve bu özellikler doğrudan başarıya etki edecektir. Bu çalışmada dört farklı Türkçe gazetenin her birinden 10 adet yazar rastgele olarak seçilmiş ve her bir yazarın da toplam 10 adet köşe yazısı rastgele tespit edilmiştir. Yazarı tanımaya yönelik olarak belirlenen 30 adet özellik yazar tanıma için belirlenmiş ve geri yayımlı yapay sinir ağlarına girdi olarak verilmiştir. Çıktı olarak ise yazar adı modelinin kurgulandığı bu çalışmada eğitim ve test verileri altı farklı şekilde k-katlı çapraz doğrulama yöntemi ile ayrıştırılmıştır. İç katmandaki sinir sayıları da farklı katman ve değerlerde değiştirilerek denemeler yapılmış ve en iyi modele ulaşmak hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda her bir gazete için farklı doğruluk oranları elde edilmiştir. En yüksek başarı oranı %86.9 iken, en düşük başarı oranı %75.0 elde edilmiştir. Başarı oranlarının birbirlerinden farklı çıkmasında ise her gazetede ki yazarın yazarlık özelliklerinin ayırt ediciliği etkili olduğu düşünülmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Makine Öğrenmesi, Yazar Tahmini, Metin Sınıflandırma

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Bilişim alanında kullanılan sistemlerin sayısı arttıkça depolanan veri sayısı da bu doğrultuda artmaktadır. Bilhassa metinlerin benzerliklerine göre sınıflandırılması ve yazarının belirlenmesi önemli sorunlar arasında görülmektedir. Metinlerin sınıflandırılmasının temel amacı o metnin özellikleri dikkate alınarak daha önceden belirlenen kategoriler arasından hangisine ait olduğunu belirlemektir. Bu şekilde yapılan metin sınıflandırma işlemlerinde bilgi elde etme, indeksleme, filtreleme, hiyerarşik düzenleme imkânı sağlar (Amasyalı, Diri ve Türkoğlu, 2006). Bu tür duruma en iyi örnek olarak e-posta içeriklerinin analiz edilerek gereksiz (spam) olup olmadığına karar vermek veya arama motorları ile en iyi ilgili sıralamayı elde etmektir.

Doğal dil alanında yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak metin sınıflandırma konuları ile ilgilenmektedir. Burada belirgin ayırt edici durum seçilen özellikler olmaktadır. İstenen metin türlerine göre sınıflandırılmak istenmesi durumu ile yazarını belirlemek için yapılan sınıflandırmada seçilen özellikler birbirinden farklı olacaktır. Elbette bu tür sınıflandırma çalışmalarında başarı oranını doğrudan etkileyen en büyük etmen seçilen özellikler olacaktır. Belirlenen tüm özellikler doğrudan ilgili sınıflandırma ile ilgili olmak zorundadır. Farklı dillerde sınıflandırma ve yazar belirleme çalışmaları var iken Türkçe diline ait çalışmalar maalesef daha sınırlı sayıdadır. 70'li yıllarda metinlerin etiketlenmesi üzerine öncül çalışmalar görülmüştür (Levent ve Diri, 2014). Fakat Türkçe diline ait çalışmalara ise 1999 yılında başlanmıştır.

## Metinlerin Belirleyici Özellikleri

Bir metnin yazarına ait birden fazla farklı metinler incelenir ve analiz edilirse bu metinlerin birbiri ile bazı benzerlikler taşıdığı görülecektir. Bu benzerlikler ayrıca metnin yazarını da tahmin edilmesine imkân tanıyacaktır. Bilhassa gazete metinlerindeki köşe yazılarının incelenmesi ve analiz edilmesi

sonrası yazarı daha rahat belirlenebilir. Her yazarın yazım üslubu istatistiksel verilere yansıtılması ile bilgisayar tarafında kullanılacak belirli algoritmalar ile yazar tahmini yapılabilir. Metin sınıflandırma çalışmalarında k-en yakın komşu, naive bayes, destek vektör makineleri, J48, rastgele orman yöntemleri vb. farklı yöntemler kullanılmıştır (Fung ve Mangasarian, 2003; Diri ve Amasyalı, 2003; Aşlıyan ve Günel, 2011; Soucy ve Mineau, 2001). Bir metnin yazarını belirlemek için çıkartılan özelliklere yönelik benzer çalışmalar incelendiğinde kelime frekanslarına, harf sayılarına, cümle uzunluklarına, ortalama hece sayılarına, metnin toplam uzunluğuna, kelimelerin tüm kelimelere oranına bakılmıştır (Burrows, 1992; Brinegar, 1963; Morton, 1965; Holmes, 1994; Tweedie ve Baayen, 1998).

Yazar tahmin etmede başarıyı etkileyen unsurlar arasında en önemlisi seçilen özelliklerdir. Fakat bu özelliklerin yanı sıra dil, seçilen metinler ve yazarlar da doğrudan veya dolaylı olarak başarıyı etkilemektedir. Literatürde yapılan çalışmaların başarı oranı incelendiğinde yazar sınıflandırmada %74 oranında doğru sınıflandırma yapan çalışmalar var iken %97 oranında doğru sınıflandırma yapan çalışmalar da görülmektedir. Fakat bu oranlar arasında yer alan %80, %81, %83, %85, %90 oranında başarının elde edildiği çalışmalar da bulunmaktadır (Cavnar ve Trenkle, 1994; Stamatos, Fakotakis ve Kokkinakis, 2000; Peng ve Schuurmans, 2003; Amasyalı ve Diri, 2006; Peng, Wang ve Schuurmans, 2003).

## Materyal ve Yöntem

### Veri Toplama

Bu çalışmada hem basılı hem de internet üzerinden yayın yapan dört farklı gazetenin her birinden 10 adet köşe yazarı tespit edilmiştir. Her yazarın ise toplam 10 tane köşe yazısı kayıt altına alınmıştır. Toplamda 400 adet köşe yazısı elde edilmiştir. Bu yazılar Yazar Adı, Gazete, Köşe Yazısı sütunlarından oluşan bir veritabanı tablosunda kaydedilmiştir.

## Önişlem

Veri kümesindeki tüm kayıtlar yazar tarafından geliştirilen .net tabanlı bir programa Zemberek kütüphanesini kullanılarak sunulmuştur. Program aracılığıyla metinlerin 30 adet özelliği belirlenmiş ve geri yayımlı yapay sinir ağlarına girdi olarak sunulmuştur. Çıktı olarak ise yazar adı ile gazete adı verilmiştir. Aşağıda Weka programında girdi olarak kullanılan nitelikler verilmiştir.

- Cümle Sayısı
- Harf Sayısı
- Paragraflardaki Ortalama Cümle Sayısı
- Ortalama Kelime Uzunluğu
- Cümledeki Ortalama Kelime Sayısı
- Kelime Sayısı
- Farklı Kelime Sayısı
- Nokta Sayısı
- Virgül Sayısı
- Karakter Sayısı
- Paragraf Sayısı
- Noktalı Virgül Sayısı
- Soru İşareti Sayısı
- Ünlem Sayısı
- İsim Kelime Türü Sayısı
- Özel İsim Kelime Türü Sayısı
- Sıfat Kelime Türü Sayısı
- Fiil Kelime Türü Sayısı
- Zamir Kelime Türü Sayısı
- Bağlaç Kelime Türü Sayısı
- Edat Kelime Türü Sayısı
- Sayı Kelime Türü Sayısı
- Zaman Kelime Türü Sayısı
- Soru Kelime Türü Sayısı
- Bilinmeyen Kelime Türü Sayısı
- Kısaltma Sayısı
- Çift Tırnak Sayısı
- Tek Tırnak Sayısı
- Tire Sayısı
- Parantez Sayısı

## Sınıflandırma ve Başarı Ölçütü

Girdi değerlerinin sayısal veya metin türlerinden oluşması ve çıktı değerinin ise yalnızca kategorilendirilmiş metinlerden oluşması

durumunda metin sınıflandırması yapılır. Weka programı aracılığıyla metin sınıflandırma yöntemlerinden herhangi biri kullanılabilir. Programın varsayılan kurulumu ile BayesNet, NaiveBayes, NaiveBayesMultiNominalText, NaiveBayesUpdateable, LibSVM, Logistic, MultiLayerPerceptron, SGD, SGDText, SimpleLogistic, SMO, VotedPerceptron, IBk, kStar, LWL, DecisionTable, JRip, J48, RandomForest vb. birçok yöntem kurulu gelmektedir ve kullanılabilir. İstenirse paket yöneticisi aracılığıyla başka yöntemlerin de kurulumu yapılabilir. Bu algoritmalar aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

- Bayes Sınıflandırıcılar
- Ağaç Algoritmaları
- Kural Tabanlı Sınıflandırıcılar
- Fonksiyonlar
- Tembel Algoritmalar
- Meta Öğrenme Algoritmaları
- Çeşitli Sınıflandırıcılar

Buradaki çalışmada her bir yöntemin detaylarına girmeden çalışma içerisinde kullanılan yöntemler hakkında kısaca bilgi verilecektir. Bu çalışmada her bir gruptan bir yöntem belirlenmiş ve yöntemin sonuçları başarı oranı açısından karşılaştırılacaktır.

### *NaiveBayesUpdateable*

NaiveBayes algoritması olasılıksal temel bayes sınıflandırıcıyı temel alarak olasılık ilkelerine göre tanımlanmış bir dizi hesaplama ile sunulan verilerin sınıfını tespit etmeye çalışır. NaiveBayesUpdateable algoritması ise NaiveBayes'e göre her seferinde bir örneği işleyen artımlı bir sürümdür. Bir çekirdek tahmincisi kullanabilir, ancak ayrıklaştırma yapamaz.

### *MultiLayerPerceptron*

İnsan beyninin çalışma ilkesinden esinlenerek geliştirilmiş, her biri belirli ağırlıklara sahip bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan ve yine her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarına yapay sinir ağları denir

(Malikoğlu, 2002). Bu algoritma Weka programı içinde yapay sinir ağları algoritmasını uygular ve çeşitli parametreler varsayılan olarak gelmekle birlikte kullanıcı tarafından değiştirilmesine izin verir.

#### *IBk*

Tembel öğrenme algoritmaları eğitim örneklerini saklarlar ve sınıflandırma zamanına kadar gerçek bir çalışma yapmazlar. En basit tembel öğrenme algoritması IBk olarak adlandırılan k-en yakın komşu sınıflandırıcısıdır. En yakın komşu bulma görevini hızlandırmak için çeşitli farklı arama algoritmaları kullanılabilir.

#### *AdaBoostM1*

Meta öğrenmeler basit sınıflandırma algoritmalarını alır ve onları daha güçlü öğrenme algoritmalarına dönüştürür. Önceki modelin yanlış sınıflandırdığı örnekleri vurgulamak için her yeni modeli eğiterek işlem yapar. Bu algoritma ile örneğin iç içe yapay sinir ağları (multilayerperceptron) algoritması kullanılabilir.

#### *InputMappedClassifier*

Bir temel sınıflandırıcıyı (ya da bir dosyaya serileştirilmiş olan modeli) sarar ve gelen test verilerinde bulunan özellikler ile model eğitildiğinde görülen özellikler arasında bir eşleme oluşturur. Test verilerinde bulunan, ancak eğitim verilerinde bulunmayan nitelikler için değerler basitçe göz ardı edilir. Eğitim verilerinde olan, ancak test verilerinde bulunmayan nitelikler, eksik değerleri alır. Benzer şekilde, eksik değerler eğitim verilerinde olmayan yeni nominal değerler için kullanılır.

#### *DecisionTable*

Bir karar tablosu sınıflandırıcısı oluşturur. En iyi ilk arama özelliğini kullanarak özellik alt kümelerini değerlendirir ve değerlendirme için çapraz doğrulamayı kullanabilir. Aynı özellik kümesine dayanarak, tablonun global çoğunluğu yerine, bir karar tablosu girdisiyle kapsanmayan

her bir örnek için sınıfı belirlemede en yakın komşu yöntemini kullanır.

#### *J48*

Kısmi karar ağaçlarından kurallar alır. C4.5'in sezgisel özelliklerini kullanarak ağacı J48 ile aynı kullanıcı tanımlı parametrelerle oluşturur.

#### **Başarı Oranı Analizi**

Kategorik sınıf değerleri tahmin edilirken amaç kaç tane türden kaç tanesinin doğru sınıfa yerleştirildiğini tahmin etmektir. Buradaki sınıflardan hangilerinin hangi sınıfa yerleştirildiğini görmek için hata matrisi (Confusion Matrix) tablosu kullanılır. Hata matrisi tablosu incelenerek test verilerinden kaç tanesinin doğru ve yanlış yerleştirildiği sonucu elde edilebilir.

Kappa istatistiği satır ve sütun sayısı eşit olan tablolarda iki değişken arasındaki uyumu ölçmek için kullanılır. Kolay hesaplanıp pratik olarak yorumlanabilen şans ile beklenen arasındaki uyumu düzeltmeyi temel alır. Kappa istatistiği, -1 ile +1 arasında değerler alır ve 0'dan küçük olması durumunda uyum olmadığı 1'e yaklaştıkça ise tam bir uyumun olduğunu gösterir. Kappa istatistiği hesaplanırken iki farklı olasılık hesaplanır. Bunlar Pr(a) ve Pr(e)'dir. Pr(a) iki değerlendirici için gözlemlenen uyumların toplam orantısı iken, Pr(e) bu uyumun şansa bağlı ortaya çıkma olasılığıdır. Bu iki olasılık üzerinden Cohen'in kappa istatistiği için kullanılacak formül aşağıdaki gibidir (Sim ve Wright, 2005).

$$K = \frac{\text{Pr}(a) - \text{Pr}(e)}{1 - \text{Pr}(e)}$$

Tahmin edilen sınıf kategorik olması sebebiyle her bir kategorinin ne kadar doğru sınıflandırıldığına detaylı analizi görülebilmektedir. Bunun için öncelikle ikili bir sınıflandırma tahmininde hata matrisindeki değerleri doğru anlamak gerekir. Öncelikle aşağıdaki tanımlar verilmiştir.

- **Doğru Pozitif:** Gerçek değeri pozitif olup pozitif olarak tahmin edilenler. Türkçe  $dp$  olarak kısaltılacaktır.
- **Yanlış Negatif:** Gerçek değeri pozitif olup negatif olarak tahmin edilenler. Türkçe  $yn$  olarak kısaltılacaktır.
- **Yanlış Pozitif:** Pozitif olarak tahmin edilmiş fakat gerçek değeri negatif olanlar. Türkçe  $yp$  olarak kısaltılacaktır.
- **Doğru Negatif:** Negatif olarak tahmin edilmiş ve gerçek değeri negatif olanlar. Türkçe  $dn$  olarak kısaltılacaktır.

Yukarıda Doğru Pozitif ( $dp$ ), Yanlış Negatif ( $yn$ ), Yanlış Pozitif ( $yp$ ), Doğru Negatif ( $dn$ ) değerleri tanımlanmıştır. Bunların oranları hesaplanırken aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

$$dp \text{ oranı} = \frac{dp}{(dp + yn)}$$

$$dn \text{ oranı} = \frac{dn}{(dn + yp)}$$

$$yp \text{ oranı} = \frac{yp}{(yp + dn)}$$

$$yn \text{ oranı} = \frac{yn}{(yn + dp)}$$

Kategorik değişkenleri tahmin ederken yukarıda bahsedilen hesaplama değerlerinin dışında Kesinlik (*Precision*), Hassasiyet (*Recall*) ve F-Ölçüsü (*F-Measure*) değerleri de hesaplanmaktadır. Özellikle sınıfların çok dengesiz olduğu durumlarda yararlanan bir ölçüttür. Bu değerler aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır.

$$Hassasiyet (p) = \frac{dp}{dp + yn}$$

$$Kesinlik (r) = \frac{dp}{dp + yp}$$

$$F - \text{Ölçüsü} = 2 \times \frac{Kesinlik \times Hassasiyet}{Kesinlik + Hassasiyet}$$

$$= 2 \frac{pr}{p + r}$$

## Uygulama ve Başarımlar

Birçok sınıflandırma yöntemi bulunmaktadır. Weka programı ile bu çalışmadaki C adlı gazetenin verileri farklı yöntemler ile analiz edilmiş ve en iyi başarı yapay sinir ağları ile elde edilmiştir. Bu sebeple sonraki analizlere de yapay sinir ağları devam edilmiştir.

**Tablo 1.** Farklı Analizler ile Tahmin Sonuçları

Analiz Adı	F-Ölçüsü
MultiLayerPerceptron	0,869
NaiveBayesUpdateable	0,836
IBk	0,801
AdaBoostM1	0,849
InputMappedClassifier	0,029
DecisionTable	0,615
J48	0,682

Dört farklı gazete için öncelikle metinlere bakarak gazete adını tahmin etmek amaçlanmıştır. %88 doğruluk oranı ile gazete tahminleri yapılmıştır. Yapılan analize yönelik değerler aşağıdaki gibidir. Her bir gazete C, M, H, S harfleri ile kısaltılmıştır.

**Tablo 2.** Gazete Adı Tahmin Sonuçları

	dp Oranı	yp Oranı	Hassasiyet	Duyarlılık	F-Ölçüsü	MCC	ROC Alanı	PRC Alanı	Sınıfı
	0,861	0,050	0,853	0,861	0,857	0,809	0,958	0,918	C
	0,911	0,047	0,868	0,911	0,889	0,851	0,977	0,910	M
	0,850	0,036	0,885	0,850	0,867	0,825	0,965	0,923	H
	0,930	0,017	0,949	0,930	0,939	0,920	0,973	0,949	S
Ağırlıklı Ortalama	0,888	0,037	0,889	0,888	0,888	0,851	0,968	0,925	



Yukarıdaki Tablo 2 incelendiğinde genel olarak gazete tahmin başarı oranlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Fakat S kodlu gazetenin diğerlerine göre biraz daha yüksek başarı oranı ile tahmin edildiği görülmüştür. Sınıflandırma durumunu görebilmek için ise aşağıdaki matris tablosu incelenebilir.

**Tablo 3.** Gazete Adı Tahmini Matris Tablosu

Sınıflandırılmış Veriler				
A	B	C	D	
87	8	4	2	A= C
7	92	2	0	B= M
7	5	85	3	C= H
1	1	5	93	D= S

Tablo 3'teki matris tablosu incelendiğinde köşegenler üzerindeki değerlerin daha yüksek olduğu fakat diğer sınıflandırmalarda da bir kısım hatalı sınıflandırmaların yapıldığı görülmektedir. Örneğin gerçekte S kodlu olan gazeteden beş tanesi H kodlu gazete olarak sınıflandırılmıştır.

Buradaki öğrenme işlemi gerçekleştirilirken çok farklı sayıda iç katmanlar ile birçok kez

denemeler yapılmış ve en ideal öğrenme sonucu elde edilmeye çalışılmıştır. F-ölçüsü dikkate alınarak yapılan analizler arasından en yüksek değere sahip deneme dikkate alınmıştır. Bunun için üç katmanlı 19x25x18 değerlerine sahip deneme en başarılı olarak görülmüştür. Öğrenme oranı olarak 0.3 ve 500 iterasyon ile denemeler yapılmıştır. Eğitim ve test verilerinin ayrıştırılmasında ise 10 katlı çapraz doğrulama kullanılmıştır.

Buraya kadar verilerden gazetenin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Buradan sonra da bu kez gazetelerin yazarlarını tahmin etme amaçlanmaktadır. İki farklı şekilde çalışma yürütülmüştür. Öncelikle her bir gazete için veriler yapay sinir ağlarına verilmiş ve metnin yazarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonrasında ise tüm gazetelerin köşe yazıları birleştirilmiş ve tek dosya halinde verilmiştir. Böylelikle tüm köşe yazıları arasından yazar tahmini yapılmıştır. Aşağıdaki Tablo 4'te her bir gazete için tahmin başarı değerleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Her Bir Gazete İçin Tahmin Sonuçları

	dp Oranı	yp Oranı	Hassasiyet	Duyarlılık	F-Ölçüsü	MCC	ROC Alanı	PRC Alanı	Sınıfı
C Gazetesi	0,900	0,011	0,900	0,900	0,900	0,889	0,995	0,950	4
	1,000	0,022	0,846	1,000	0,917	0,910	0,998	0,986	9
	1,000	0,011	0,909	1,000	0,952	0,948	0,999	0,991	11
	0,800	0,011	0,889	0,800	0,842	0,827	0,880	0,772	12
	0,900	0,022	0,818	0,900	0,857	0,842	0,988	0,892	14
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	27
	0,900	0,011	0,900	0,900	0,900	0,889	0,995	0,956	31
	0,700	0,022	0,778	0,700	0,737	0,711	0,916	0,817	32
	0,800	0,022	0,800	0,800	0,800	0,778	0,981	0,894	37
	0,700	0,011	0,875	0,700	0,778	0,762	0,907	0,790	39
Ağ.Ort.	0,871	0,014	0,871	0,871	0,869	0,856	0,966	0,906	
H Gazetesi	0,800	0,033	0,727	0,800	0,762	0,735	0,983	0,805	1
	0,700	0,067	0,538	0,700	0,609	0,565	0,894	0,697	5
	0,500	0,033	0,625	0,500	0,556	0,516	0,970	0,734	7
	0,800	0,011	0,889	0,800	0,842	0,827	0,974	0,904	16
	0,700	0,011	0,875	0,700	0,778	0,762	0,969	0,899	23
	0,700	0,011	0,875	0,700	0,778	0,762	0,922	0,690	25
	0,900	0,011	0,900	0,900	0,900	0,889	0,996	0,957	29
	0,900	0,000	1,000	0,900	0,947	0,943	0,999	0,991	30
	0,800	0,033	0,727	0,800	0,762	0,735	0,979	0,890	36
	0,900	0,044	0,692	0,900	0,783	0,763	0,980	0,876	38
Ağ.Ort.	0,770	0,026	0,785	0,770	0,772	0,750	0,967	0,844	
M Gazetesi	0,300	0,011	0,750	0,300	0,429	0,443	0,751	0,468	8
	0,900	0,055	0,643	0,900	0,750	0,730	0,990	0,929	13
	0,600	0,022	0,750	0,600	0,667	0,639	0,982	0,876	17
	1,000	0,033	0,786	1,000	0,880	0,872	0,996	0,969	18
	0,600	0,033	0,667	0,600	0,632	0,594	0,962	0,795	20
	0,900	0,000	1,000	0,900	0,947	0,944	0,935	0,914	22
	0,900	0,022	0,818	0,900	0,857	0,842	0,996	0,965	33
	1,000	0,011	0,909	1,000	0,952	0,948	0,998	0,981	34
	0,900	0,022	0,818	0,900	0,857	0,842	0,981	0,895	35
	0,900	0,011	0,900	0,900	0,900	0,889	0,997	0,977	40
Ağ.Ort.	0,802	0,022	0,804	0,802	0,788	0,775	0,959	0,878	
S Gazetesi	0,900	0,000	1,000	0,900	0,947	0,943	1,000	1,000	2
	0,800	0,033	0,727	0,800	0,762	0,735	0,993	0,952	3
	0,800	0,044	0,667	0,800	0,727	0,698	0,892	0,814	6
	0,900	0,044	0,692	0,900	0,783	0,763	0,990	0,926	10
	0,900	0,000	1,000	0,900	0,947	0,943	0,932	0,914	15
	0,500	0,044	0,556	0,500	0,526	0,478	0,951	0,696	19
	0,800	0,044	0,667	0,800	0,727	0,698	0,986	0,889	21
	0,600	0,000	1,000	0,600	0,750	0,758	0,919	0,840	24
	0,700	0,033	0,700	0,700	0,700	0,667	0,973	0,849	26
	0,600	0,033	0,667	0,600	0,632	0,594	0,928	0,693	28
Ağ.Ort.	0,750	0,028	0,768	0,750	0,750	0,728	0,956	0,857	

Her bir gazetenin 10 farklı yazarına ait veriler yapay sınır ağlarına öğretildiğinde Tablo 3'teki sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Buradaki veriler gazete açısından incelendiğinde %75 ile %86 oranında doğru tahminler elde edildiği görülmektedir. Gazeteler açısından başarı

oranındaki bu farklılıkların seçilen yazarların yazarlık stilleri nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir. Örneğin S Gazetesi diğerlerine oranla tahmin başarısı düşük iken kendisinin 15 numaralı ve 2 numaralı yazarların tahmininde %94 doğru sınıflandırma

yapılmıştır. Fakat aynı gazetenin 19 numaralı yazarı %52 oranında doğru sınıflandırma değerine sahiptir. Benzer şekilde C Gazetesi %87 ile en yüksek başarılı sınıflandırma oranına sahip gazetedir. Hatta 9, 11 ve 27 numaralı

yazarlar %100 başarı ile sınıflandırılmıştır. Fakat 32 numaralı yazarın sınıflandırma başarısı ise %73'te kalmıştır. Bu durum da göstermektedir ki tahmin başarısı yazarın kendisinden doğrudan etkilenmektedir.

**Tablo 5.** Tüm Köşe Yazıları İçin Tahmin Sonuçları

dp Oranı	yp Oranı	Hassasiyet	Duyarlılık	F-Ölçüsü	MCC	ROC Alanı	PRC Alanı	Sınıfı
0,700	0,018	0,500	0,700	0,583	0,579	0,988	0,639	1
1,000	0,008	0,769	1,000	0,870	0,874	0,998	0,928	2
0,800	0,008	0,727	0,800	0,762	0,756	0,997	0,914	3
0,500	0,013	0,500	0,500	0,500	0,487	0,975	0,652	4
0,500	0,015	0,455	0,500	0,476	0,463	0,942	0,499	5
0,800	0,008	0,727	0,800	0,762	0,756	0,942	0,845	6
0,300	0,010	0,429	0,300	0,353	0,345	0,934	0,375	7
0,100	0,015	0,143	0,100	0,118	0,101	0,790	0,139	8
0,909	0,015	0,625	0,909	0,741	0,746	0,992	0,779	9
0,900	0,005	0,818	0,900	0,857	0,854	0,999	0,983	10
0,800	0,008	0,727	0,800	0,762	0,756	0,997	0,892	11
0,900	0,003	0,900	0,900	0,900	0,897	0,958	0,896	12
0,800	0,005	0,800	0,800	0,800	0,795	0,997	0,860	13
0,800	0,000	1,000	0,800	0,889	0,892	0,994	0,912	14
0,900	0,003	0,900	0,900	0,900	0,897	0,981	0,902	15
0,700	0,015	0,538	0,700	0,609	0,603	0,990	0,681	16
0,600	0,000	1,000	0,600	0,750	0,771	0,970	0,695	17
1,000	0,005	0,846	1,000	0,917	0,918	1,000	0,984	18
0,800	0,008	0,727	0,800	0,762	0,756	0,996	0,846	19
0,500	0,008	0,625	0,500	0,556	0,549	0,947	0,700	20
0,700	0,008	0,700	0,700	0,700	0,692	0,994	0,835	21
0,800	0,015	0,571	0,800	0,667	0,667	0,963	0,602	22
0,700	0,003	0,875	0,700	0,778	0,778	0,945	0,840	23
0,400	0,003	0,800	0,400	0,533	0,559	0,967	0,717	24
0,500	0,010	0,556	0,500	0,526	0,516	0,933	0,502	25
0,700	0,008	0,700	0,700	0,700	0,692	0,995	0,849	26
1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	27
0,500	0,005	0,714	0,500	0,588	0,589	0,993	0,818	28
1,000	0,005	0,833	1,000	0,909	0,911	0,998	0,945	29
1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	30
0,900	0,005	0,818	0,900	0,857	0,854	0,996	0,843	31
0,600	0,008	0,667	0,600	0,632	0,624	0,935	0,491	32
0,900	0,003	0,900	0,900	0,900	0,897	0,998	0,935	33
1,000	0,003	0,909	1,000	0,952	0,952	0,999	0,970	34
0,400	0,013	0,444	0,400	0,421	0,408	0,943	0,521	35
0,600	0,003	0,857	0,600	0,706	0,711	0,976	0,784	36
0,600	0,010	0,600	0,600	0,600	0,590	0,969	0,688	37
0,800	0,013	0,615	0,800	0,696	0,693	0,990	0,739	38
0,600	0,003	0,857	0,600	0,706	0,711	0,929	0,562	39
0,800	0,003	0,889	0,800	0,842	0,840	0,991	0,905	40
Ağ.Ort.	0,721	0,007	0,727	0,721	0,715	0,713	0,767	



her bir katmanda farklı sayıda sinir bulunan modeller ile denemeler yapılmıştır. En iyi sonuç tek katmanlı ve 35 siniri bulunan modelde elde edilmiştir. Yapay sinir ağlarının dezavantajları arasında probleme uygun ağ yapısının deneme yanılma yolu ile bulunması ve ağı oluşturulma kurallarının bulunmamasıdır. Ayrıca yapay sinir ağlarının davranışları açıklanamamakta ve bu nedenle problem için üretilen çözümün nasıl ve neden üretildiği açıklanamamaktadır (Öztemel, 2012). Çalışma sırasında beklenti çok katmanlı bir yapıda daha iyi sonuçlar üretmesi iken tek katmanlı bir ağın daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

## Sonuçlar ve Tartışma

Gazetelerin köşe yazarlarının yazıları sık takip edilince onların yazarı bilinmese dahi bir süre sonra onun kimin tarafından yazıldığı tahmin edilebilir. Bu durum yazarın yazarlık özelliklerini tüm yazılarına yansıtmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada dört farklı gazetenin her birinden 10 adet yazar tespit

edilip her yazarın 10 adet yazısı kayıt altına alınmıştır. Toplamda 400 adet yazı yapay sinir ağları ile incelenmiş ve gazete adı ile köşe yazarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Gazete adı tahmini yapılırken %93 oranında başarılı sınıflandırmalar elde edilmiştir. Yazar tahminlerinde ise kimi gazetelere ait yazar tahminleri %86 başarı oranı ile tahmin edilirken kimi gazetelere ait yazar tahminleri ise %75 başarı oranı ile tahmin edilmiştir. 400 adet yazı birlikte ele alındığında ise %72 başarı oranı ile tahminler elde edilmiştir. Benzer çalışmalarda farklı başarı oranlarının elde edilmesinde yazarların yazarlık özelliklerini yansıtmama durumu etkili olmaktadır. Yapılan çalışmanın metin sınıflandırma işlemlerinde epostaların, resmi yazıların, yazarı bilinmeyen metinlerin gerçek yazarını bulmaya imkân tanıyacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın geliştirilerek kelime dil kökenleri bakımından yazar tahmini yapılabileceği önerilmektedir.

## Kaynaklar

- Amasyalı M.F., Diri B. (2006). Automatic Written Turkish Text Categorization in Terms of Author, Genre and Gender, 11th International Conference on Applications of Natural Language to Information Systems, Austria.
- Amasyalı, M. F., Diri, B., Türkoğlu, F. (2006). Farklı özellik vektörleri ile Türkçe dokümanların yazarlarının belirlenmesi. In The Fifteenth Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks (TAINN'2006).
- Aşlıyan, R., Günel, K. (2011). A Comparison of Syllabifying Algorithms for Turkish. *Advanced Research in Computer Science*, 3(1): 58-78.
- Brinegar, C.S. (1963). Mark Twain and the Quintus Curtius Snodgrass Letters: A Statistical Test of Authorship, *Journal of the American Statistical Association*, 58:85-96.
- Burrows, J.F. (1992). Not unless you ask nicely: the interpretative nexus between analysis and information, *Literary Linguist Comput*, 7:91-109.
- Cavnar, W. B. ve Trenkle, J. M. (1994). N-gram-based text categorization, *Proceedings of SDAIR-94, 3rd Annual Symposium on*

- Document Analysis and Information Retrieval. Information Systems Project Management, Jolyon E. Hallows, AMACOM Pres.
- Diri, B., Amasyalı M.F. (2003). Automatic Author Detection for Turkish Texts. *Artificial Neural Networks and Neural Information Processing*, pp. 138-141.
- Fung, G., Mangasarian, O. (2003). The Disputed Federalist Papers: SVM Feature Selection via Concave Minimization. In *Proceedings of the 2003 Conference of Diversity in Computing*, pp. 42-46, Atlanta, Georgia, USA.
- Holmes, D.I., (1994). Authorship Attribution, *Comput Humanities*, 28:87-106.
- Levent, V. E., Diri, B. (2014). Türkçe Dokümanlarda Yapay Sinir Ağları İle Yazar Tanıma. *Akademik Bilişim'14. Mersin Üniversitesi*. 5-7.02.2014.
- Malikoğlu, G.P.S.N. (2002). *Artificial Intelligence 1*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Morton, A.Q. (1965). The Authorship of Greek Prose, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 128:169-233.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, Ankara.

- Peng F., Schuurmans D. (2003). Combining Naive Bayes and N-gram Language Models for Text Classification, School of Computer Science, University of Waterloo.
- Peng F., Wang S., Schuurmans D. (2003). Language and Task Independent Text Categorization with Simple Language Models, School of Computer Science, University of Waterloo.
- Sim, J., & Wright, C. C. (2005). The Kappa statistic in reliability studies: Use, interpretation, and sample size requirements. *Physical Therapy*, 85(3), 258-268.
- Soucy, P., Mineau, G.W. (2001). A Simple K-NN Algorithm For Text Categorization. In *Proceedings of The First IEEE International Conference On Data Mining (ICDM\_01)*, pp. 647–648, San Jose, CA.
- Stamatatos E., Fakotakis N., Kokkinakis G. (2000). “Automatic Text Categorization in Terms of Genre and Author”, *Computational Linguistics*, pp.471-495.
- Tweedie, F., Baayen, H. (1998). How Variable may a Constant be Measures of Lexical Richness in Perspective, *Computers and the Humanities*, 32(5):323-352

## Prediction of Writers and Newspapers by Artificial Neural Networks in Turkish Corner Manuscripts

### Extended abstract

The natural language processing area deals with document classification and verification procedures. If a text is to be identified, the most important feature is undoubtedly the features to be used, and these properties will directly affect success. If several different texts belonging to the author of a text are analyzed and analyzed, it will be seen that these texts have some similarities with each other. These similarities will also allow the author of the text to be guessed. Especially after analyzing and analyzing the corner texts in newspaper texts, the article can be determined more easily. As each author's writing style is reflected in the statistical data, author estimation can be done with certain algorithms to be used on the computer side. K-nearest neighbors, naive bays, support vector machines, J48, random forest methods etc. in text classification studies. different methods have been used. When similar studies were performed on the extracted features to determine the author of a text, we looked at word frequencies, letter numbers, sentence lengths, average syllable numbers, total length of the text, and proportion of words to all words.

In this study, 10 writers were selected randomly from each of four different Turkish newspapers, and a total of 10 corner papers were randomly selected for each author. A total of 400 corner writings were recorded. These texts were recorded in a database table consisting of columns of Author Name, Newspaper, Corner Writing.

All records in the dataset are presented using a .net based program developed by the author using the Zemberek library. Thirty features of texts have been specified through the program. Experiments with different methods have been carried out and back propagation artificial neural networks have produced the most successful results. Among the factors that influence success in predicting the author are the most important selected features. But besides these features, language, selected texts and writers also directly or indirectly influence success. The name of the author and the name of the newspaper were given as model outputs. As input; Number of Sentences, Number of Letter, Average

Number of Sentences in Paragraph, Average Word Length, Average Number of words in the sentence, Number of Words, Number of Different Words, Number of Dots, Number of Commas, Number of Characters, Number of Paragraphs, Number of Semicolons, Number of Question Marks, Number of Exclamations, Name Number of Word Type, Special Name Number of Word Type, Number of Adjective Word Type, Verbal Word Count, Number of Pronouns, Conjunction Word Count, Prepositions Type Number of Words, Number of Numeric of Word Types, Number of Time Word Type, Number of Question Word Types, Number of Unknown Word Type, Number of Abbreviation, Number of Double Quotes, Number of Single Quotes, Number of Tires, Number of Parentheses are used.

A 10-fold cross-validation method was used to separate training and test data. In addition, one, two, three and four layers of each layer with different numbers of nerve experiments and tried to reach the best learning model. Each modeled number of 500 iterations and 0.3 learning rate were used.

As a result of the study, different accuracy ratios were obtained for each newspaper. The highest success rate was 86.9% while the lowest success rate was 75.0%. In the newspaper name estimation, success rates between 86% and 93% were obtained. The differentiation of success rates is thought to be influential in the authorship characteristics of each newspaper author. The inner layer numbers were tried out in different forms and it was seen that the model with 35 layers of single layer gave the best result. Disadvantages of artificial neural networks include probabilistic networking by trial and error, and lack of networking rules. Furthermore, the behavior of artificial neural networks cannot be explained, and therefore it is not possible to explain how and why the solution produced for the problem is produced. In the study, it was seen that a single-layer network gave better results while the expectation produced better results in a multi-layer structure.

**Keywords:** Machine Learning; Author Estimate; Text Boundary



## Saldırı tespit ve engelleme araçlarının incelenmesi

### Muhammet BAYKARA

Fırat Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ  
[mbaykara@firat.edu.tr](mailto:mbaykara@firat.edu.tr) ORCID: 0000-0002-9368-8902, Tel: (424) 237 00 00 (4296)

### Resul DAŞ

Fırat Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ  
[rdas@firat.edu.tr](mailto:rdas@firat.edu.tr) ORCID: 0000-1234-5678-9012, Tel: (424) 237 00 00 (4305)

Geliş: 30.07.2018 , Kabul Tarihi: 28.09.2018

### Öz

Teknolojik gelişmelerle birlikte, yaşanan sayısal bilgi çağında bilgi güvenliğinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Kişi, kurum ve kuruluşlar açısından bilginin saklanması ve mahremiyetinin korunup istenildiğinde sadece yetkili kişiler tarafından erişilebilir olmasının garanti edilmesi oldukça önemlidir. Bilgi sistemlerinde güvenliğin sağlanması için birçok farklı çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Bu çalışmada bilgi güvenliği sistemlerinin vazgeçilmez araçlarından biri olan STS (Saldırı Tespit Sistemi) araçları ayrıntılı bir biçimde incelenmiştir. Yapılan kapsamlı inceleme sonucunda, bu güncel araçlar veri kaynağı, mimari yapı, çalışma zamanı gibi kriterlere göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca, saldırı tespit yöntemi ve saldırı tespit sistemi türüne göre karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgisayar güvenliği; Bilgi güvenliği; Saldırı tespit sistemleri; Saldırı engelleme araçları;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.449059



## Giriş

Bilişim sistemleri ve özellikle İnternet teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, bu sistemlerdeki açıklıklardan kaynaklanan güvenlik olayları da artmaya başlamıştır. Güncel açıklıkların önlenmesi ve güvenliğin sağlanabilmesi amacıyla birçok araç geliştirilmiştir. Bilgisayar ağları kullanılarak gerçekleştirilebilecek kötü amaçlı aktiviteler, bilinçsiz kullanımlar sonucu oluşabilmektedir. Ancak sistemin açıklıklarından faydalanarak sisteme bilerek zarar vermek isteyen saldırı faaliyetlerinin oranı daha fazladır. Özellikle web teknolojilerinin gelişip yaygınlaşması sonucu atakların sayıları ve türleri artmıştır (Baykara vd., 2013). Birçok farklı türü olan saldırılara karşı, kimlik doğrulama, yetkilendirme, antivirüs programları gibi güvenlik çözümleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bilgi güvenliği, kurumsal ve kişisel anlamda önemli olan bilgilerin yetkisiz erişimlere karşı korunmasıdır. Bilgilerin dijital arşivlerde güvenli bir biçimde saklanması, ihtiyaç duyulduğunda sadece yetkili kişiler tarafından erişilebilir ve değiştirilebilir olması, bilgi güvenliğinin temel unsurlarını ifade etmektedir. Bilgi güvenliği, güvenlik gereksiniminin oldukça önemli olduğu günümüz koşullarında bilişim sistemleri açısından birçok olguyu barındıran bir süreçtir. Bu süreç, Şekil 1'de gösterildiği gibi insan, teknoloji, sistem, bilgi, yöntem ve algoritma bileşenlerini içermektedir.



Şekil 1. Bilgi güvenliği kavramı

Bilinen ilk saldırılar, parola tahmini, basit kod yürütme gibi etki ve olasılığı düşük ataklar

olmasına rağmen gelişen teknoloji ile beraber atak karmaşıklığı ve etkisi artmıştır. Buna rağmen atakların gerçekleştirilebilmesi için gereken bilgi düzeyi düşmüştür (Baykara vd., 2013). İnternet üzerinden kontrolsüz bir şekilde yayılan bilgiler ve otonom saldırı araçları bunun en temel sebebidir. Bilgi güvenliği tehditleri, olayın kaynak noktası bakımından temelde ikiye ayrılır. Bu tasnifte ataklar, iç tehditler ve dış tehditler olarak değerlendirilir. Kurum içerisinde çalışan kişilerden kaynaklanan saldırılar “iç tehditler”, kurum dışındaki kişilerden kaynaklanan saldırılar ise “dış tehditler” olarak adlandırılır. CSI (Computer Security Institute) tarafından yapılan bir ankete göre katılımcıların %44'lük oranda iç tehdit yaşadığı belirlenmiştir (Şahinaslan vd., 2009). Bu tehditler, virüslerden (%50) sonra ikinci büyük tehdittir. Bu tür bir iç tehdit durumunun tespit edilmesi zordur ve kurum dışına bu gibi kurumsal mahremiyet derecesindeki bilgilerin yayılmaması gerekir. Bu gerçekler ışığında düşünüldüğünde aslında %44'lük oranın daha büyük olduğu da bir gerçektir. Bilişim dünyasında bilinçli veya bilinçsiz kullanımlar sonucu meydana gelebilecek iç ve dış tehditlerin tespit ve engellenmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.

Bu kapsamlı inceleme makale çalışmasında, bilgi güvenliği uygulamalarında ön plana çıkan saldırı tespit ve engelleme araçları incelenmiş, bu güvenlik araçlarının özellikleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

## Saldırı Tespit Sistemleri

Bilgisayar ve bilişim teknolojilerinin hızlı gelişimi ile elektronik depolama ortamlarının kullanımları da her geçen gün artmaktadır. Bu durumun sağladığı kolaylıklara karşın bulut ortamlarında depolanan bilgilerin korunması da büyük ve çok önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bilginin önem derecesine göre kullanılacak olan koruma sistemleri farklılık gösterebilmektedir. Bu sistemlerin temel amacı, kötü niyetli kişi ve ataklara karşı önlem düzeyini arttırarak bilgi güvenliğinin maksimum oranda sağlanmasıdır. Bilişim sistemlerine karşı tehditler ve sistemlerin

sahip olduğu zayıflıklar sürdükçe, bilgi güvenliği sistemlerinde saldırıları tespit etmek önemli rol oynayacaktır. Bilgiyi korumanın yanı sıra, var olan sistemlerin sürekli erişilebilir halde olması da hayati önem taşımaktadır. Sürekliliğin sağlanabilmesi için, yapılan saldırılara karşı alınan önlemlerin güncelliğini koruması gerekmektedir (Güven vd., 2007). Bu güncellik de ancak değişen saldırı ve yöntemlerin bilinmesi ve var olan sisteme eklenmesi ile sağlanabilir. Bu konuda öncelikle “saldırı”nın ne anlama geldiğini bilmek gerekir. Güvenlik konusunda yapılan çalışmalarda saldırının birçok tanımı yapılmıştır. Anderson’a göre (Anderson J.P, 1980), bir saldırı, izinsiz olarak bilgiye ulaşım, değiştirme, sistemi kullanılmaz veya güvenilmez hale getirmektir. Anderson’un 1980’de yapmış olduğu bu tanım hala geçerliliğini koruyan en temel tanımlardan biridir. Günümüzde ise saldırı, “bilginin mahremiyetini, bütünlüğünü ve erişilebilirliğini tehlikeye atabilecek girişimlerin kümesi” olarak tanımlanmaktadır. Saldırı tespiti ise, bir bilgisayar sisteminde veya ağda meydana gelen olayları izleyip analiz ederek, bilginin mahremiyetini, bütünlüğünü ve erişilebilirliğini bozmak ya da sistemin güvenlik mekanizmalarını aşmak için yapılan aktiviteler olarak tanımlanan saldırı işaretlerini yorumlama sürecidir (Yıldız vd., 2010). En basit tanımıyla, saldırı tespiti işini yapmak için geliştirilen sistemlere ise “Saldırı Tespit Sistemleri (STS)” denilmektedir. Konuyla ilgili literatür incelendiğinde, STS için çok farklı tanımlar olduğu da görülmektedir. Yapılan bu tanımlara göre STS’lerin (Güven vd., 2007) birkaç farklı tanımı şöyle ifade edilebilir. Bilgi sistemlerine yapılan saldırıların tespit ve engellenmesine yönelik olarak tasarlanmış sistemlerdir. Çoğunlukla gerçek zamanlı olarak, bilgisayar sistemlerinin yetkisiz, kötüye kullanım ve suistimalini yakalamak için kullanılan sistemlerdir. Diğer bir tanım ile, Saldırıcıyı durdurma girişiminde bulunmayan ve olası güvenlik istismarı durumlarında, sistem yetkililerine uyarı mesajı (alert) veren sistemlerdir. Sistem kaynaklarına veya verilerine yetkisiz erişimleri belirler. Bilişim sistemlerinde kullanılan, bilgi güvenliğinin sağlanmasındaki “alarm” özelliğinde çalışan sistemlerdir.

Bilgisayar veya ağ sistemine gerçekleştirilen sızma faaliyetlerini yakalamak için kullanılan yazılım araçlarıdır. Bilgi güvenliğinin sağlanmasında bizlere yardımcı olan sistemlerdir (Sancak, 2008). Bir ağ veya bir bilgisayara karşı yapılan her türlü saldırının tespit edilmesi ve saldırganın bertaraf edilmesi için geliştirilmiş sistemlerin bütünüdür (Sazlı vd., 2007). Gerçek zamanlı, sistem bütünlüğünü, kullanılabilirliğini ve gizliliğini tehdit eden aktiviteleri ayırt ederek bildiren sistemlerdir (Pasin, 2002).

Yetkisiz kullanma ya da yetkilerini aşan işlemleri yapma girişiminde bulunan kişi veya programları tespit etme çalışmasıdır (Dayıoğlu vd., 2002). Son yıllarda ortaya çıkmış yeni bir ağ teknolojisidir. Yazılım ve donanım kombinasyonundan oluşur. Güvenlik duvarının yetersiz kaldığı durumlarda gerekli koruma ölçütlerini sağlar ve saldırılara karşı etkin bir koruma gücüne sahiptir (Huang vd., 2010). Bilgisayar sistemlerindeki sızmalara karşı, bu sızmaları tespit etmeye çalışan ve sistem izolasyonunu sağlayan yeni bir ağ teknolojisidir (Biermann vd., 2001). Bir ağda düşman (hostile) ve sömürücü (exploit) aktivitelerine karşı koruyucu sistemdir (Depren vd., 2005). Bilişim sistemlerine yapılan yetkisiz erişimleri tespit etmek için kullanılan yazılım araçlarıdır. STS’ler, kötü niyetli ağ trafiği ve bilgisayar kullanımını tespit etme yeteneğine sahiptir. Bir STS, olası güvenlik açıklarını belirleyebilmek için bilgisayar veya ağ içerisinde değişik alanlardan bilgileri toplar ve analiz eder. STS’ler, güvenlik duvarının statik izleme kabiliyetini tamamlayan dinamik izleme elemanlarıdır (Patcha vd., 2007).

Literatürde verilen tanımlardan yola çıkarak, STS’leri, bilginin elektronik ortamlarda taşınırken, işlenirken veya depolanırken başına gelebilecek tehdit ve tehlikelerin ortadan kaldırılması amacıyla, bilgiye yetkisiz erişim veya kötüye kullanım gibi girişimleri tespit edebilme ve bu tespiti sistem güvenliğinden sorumlu kişilere iletebilme özelliğine sahip yazılımsal ve/veya donanımsal güvenlik araçları olarak tanımlayabiliriz. Aynı zamanda STS’ler, ağ cihazlarını izleyerek anormal davranışları ve kötüye kullanımı tespit ederler.

## Saldırı Tespit Sistemlerinin Güvenlik Açısından Önemi ve Etkisi

Global iletişim araç ve imkânlarının artmasıyla birlikte saldırılabilecek daha çok sistem ortaya çıkmıştır. Bu sistemlere yapılan saldırılar, yeni üretilen sistem ve teknolojilerin açıklıklarından yararlanılarak yapılır. Genel olarak bu saldırıları engellemenin iki farklı yolu vardır: (1) Güvenliği tam sağlanmış bir sistem oluşturmak, (2) Saldırıları tespit edip önlemler almak.

Güvenliği tamamen sağlanmış bir sistem ya da altyapı oluşturmak pratikte çok zor, hatta imkânsızdır denilebilir. Çünkü bilişim dünyasında sürekli olarak yeni teknolojiler üretilmekte ve farklı kategorideki bu teknolojiler birbirleriyle iletişim sağlamak zorundadır. Bu etkileşim mecburiyeti de yeni açıklık noktaları meydana getirebilmektedir. Yukarıda belirtilen (1) tam güvenli bir sistem oluşturma zorluğunun gerekçeleri şöyle verilebilir (Güven vd., 2008):

- İşletim sistemlerinde ortaya çıkan açıklıkların saldırganlar tarafından fark edilmesi ve kötücül amaçlarla kullanılması,
- OSI katmanlarında verilerin iletilmesi amacıyla kullanılan bazı protokollerin doğası gereği sahip oldukları bazı kuralların kötücül amaçlı istismar edilebilmesi,
- Şifreleme yöntemlerinin ve şifre anahtarlarının kırılabilmesi ve kullanıcıların şifre yönetimleriyle ilgili olarak yaşadıkları sorunlar nedeniyle yüksek seviyede güvenliğin sağlanamaması,
- Genellikle dış ortamlara karşı korunan bilgi sistemlerinin iç ortamlardan kaynaklanan suiistimaller ile güvenlik zafiyetine uğrayabilmesi,
- Kullanılan güvenlik mekanizmalarının, olası yeni saldırı örüntülerine adapte olabilecek şekilde güncellenmemesi,
- Bilgi güvenliğinin sürekli olarak çalışma gerektiren bir süreç olduğu gerçeğine uygun hareket edilmemesi ve gerçekleştirilmesi gereken güvenlik politikalarının sağlam olarak belirlenip uygulanmaması,

- Güvenlik amacıyla kullanıcı yetkilerinin minimuma indirilmesi sonucu kullanıcı verimliliğinin düşmesi.

Tam güvenli bir bilişim sistemi oluşturmak, doğası gereği sahip olduğu karmaşık yapıdaki zorluklarından dolayı tecrübe ve büyük önem gerektiren bir emek ister. Bu sistemleri korumak isteyen kişisel ya da kurumsal kullanıcılar açısından STS'ler oldukça önemli araçlar olarak işlev görürler. STS'lerin normal ağ trafiğinde bekleme pozisyonunda kalması, saldırı geldiğinde ise hızlıca tespit etmesi beklenir. Meydana gelen bir saldırının hangi kaynaktan geldiği bilgisini elde etmek, STS'lerin önemini ortaya koyan temel faktörlerden biridir. STS'ler, detaylı bir şekilde toplayıp depoladığı bilgilerden yararlanarak, kötücül aktiviteleri mümkün olabilen en erken zamanda tespit etme özelliğinde olmalıdır. Benzer şekilde aynı bilgilerin incelenmesi ile daha önce hiç karşılaşılmamış bir saldırıyı da tespit edebilmesi STS'lerin önemini artıran bir özelliktir (Güven vd., 2008).

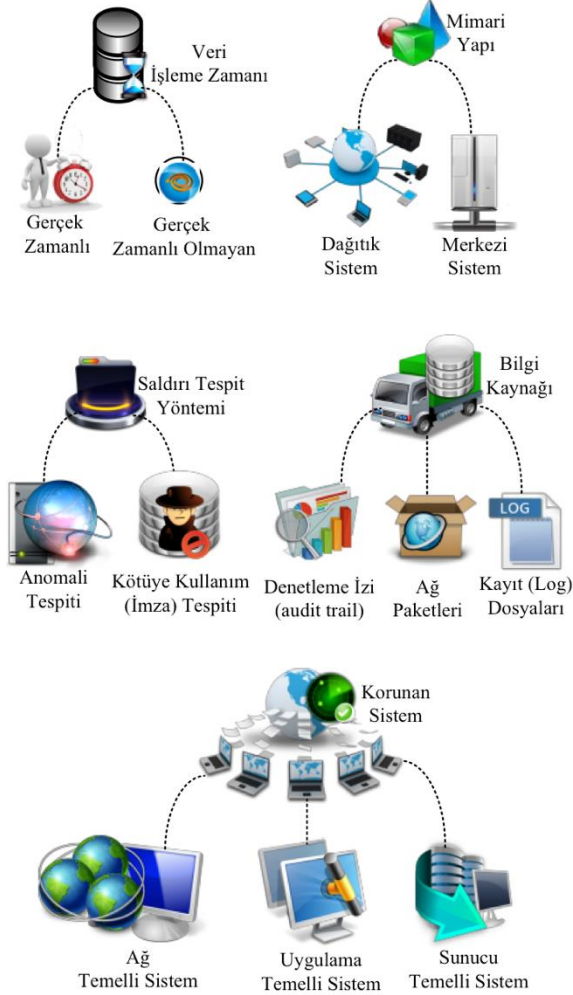
Yukarıda sıralanan nedenlerden dolayı, tamamen güvenli bir sistem oluşturmada mümkün olmadığı görülse de, üst düzey güvenliğe sahip bir sistem oluşturmak mümkündür. Bunun için maliyet de göz önünde bulundurularak gerekli olan tüm güvenlik araçlarından faydalanılmalı ve güncel araçlar sürekli takip edilmedir. Ancak saldırganlar, kapatılan açıklıkların aksine yenilerini bulabilmesi ve önceden tahmin edilemeyen yollara başvurmaları, tamamen güvenli bir ortamın oluşturulamamasına neden olduğu da asla unutulmamalıdır. STS'lerin buradaki önemi, kullanılan yeni teknikler sayesinde önceden bilinmeyen saldırıların da tespit edilebilmesini sağlamasıdır.

**Saldırı Tespit Sistemlerinin Sınıflandırılması**  
Saldırı Tespit Sistemlerinin sınıflandırılmaları için birçok farklı kriter kullanılabilir. STS stratejilerinin de belirlendiği, kullanılan genel kriterler şöylece sıralanabilir:

- Saldırı tespit yöntemi,
- Mimari yapı,
- Korunan sistem türü,

- Veri işleme zamanı,
- Kullanılan bilgi kaynağı.

En çok bilinen sınıflandırma kriteri saldırı tespit yöntemidir. Bu sınıflandırma kriterine göre STS'ler, Anomali Tespiti ve Kötüye Kullanım Tespiti olarak ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 2. Saldırı tespit sistemlerinin sınıflandırılması

STS'lerin en çok kullanılan özelliklerine göre sınıflandırılması Şekil 2'de verilmiştir. Bir STS, Şekil 2'de gösterilen sınıflandırma kriterlerinden her biri ile farklı sınıflarda yer alabilir. Bu durum, sınıflandırmanın hangi kriterlere göre yapıldığına bağlıdır. Örneğin; 1988'de geliştirilen IDES, veri işleme zamanına göre gerçek zamanlı, mimari yapısı bakımından merkezi sistemli, kullanılan bilgi kaynağı açısından sunucu tabanlı, saldırı tespit yöntemi

açısından anormallik tespiti, koruduğu sisteme göre ise sunucu temelli sınıfına dahildir. Belirlenen sınıflandırma kriteri sadece saldırı tespit yaklaşımı ise IDES anomali tespiti yaklaşımını kullanan STS sınıfına aittir denir. Bu durumda diğer kriterlerden bahsedilmez. Ancak tüm bu kriterler, aynı zamanda bir STS'nin karakteristiğini ortaya koymasından önemlidir (Güven, 2007).

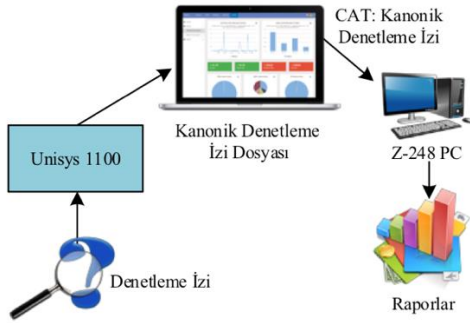
## Saldırı Tespit Sistemi Araçları

### Haystack

Bu STS, 1988 yılında ABD Hava Kuvvetlerinde kullanılan, OS/1100 işletim sistemini çalıştıran çok kullanıcılı Unisys 1100/60 ana bilgisayarları için geliştirilmiş bir STS'dir. Anderson ve Denning'in konu ile ilgili yayınladıkları makalelerden sonra bu konuda somut olarak atılan ilk adımlardan biridir. Haystack aslında 6 farklı tür saldırının tespiti için geliştirilmiştir [Güven, 2007; Smaha, 1988]. Bunlar:

- Kıırma girişimleri (attempted break-ins)
- Kılık değiştirilen ataklar (disguised intrusion)
- Güvenlik kontrol sistemine sızma (penetration of the security control system)
- Sızma (leakage)
- Hizmet engelleme (denial of service)
- Kötüye kullanım (malicious use)

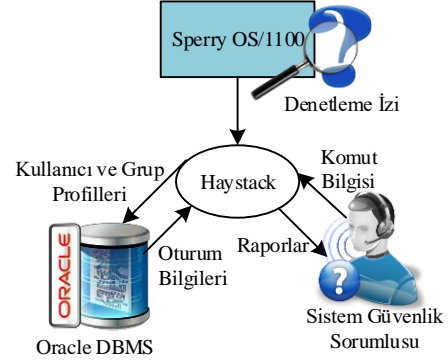
Haystack iki bileşene ayrılmıştır. Unisys (Sperry) çalışma sistemi, veri toplamayı denetlemekten sorumlu bileşen, Haystack'in Unisys parçası daha sonra bu denetleme takibini, birleşmiş denetleme takibine dönüştürmektedir. Şekil 3, Haystack STS'nin operasyonel yapısını göstermektedir. Hedef sistem üzerindeki denetleme izleri Haystack ön işlemcisi tarafından kanonik denetleme izlerine dönüştürülür. Daha sonra bu denetleme izleri analiz platformunda incelenerek güvenlik ihlali olup olmadığına karar verilir. Şekil 4 analiz mantığını ve Şekil 5, Haystack STS'nin kavramsal yapısını göstermektedir (Smaha, 1988). Haystack, çok yönlü sistem denetim kayıtlarını, kullanıcı davranışını, anormal olayları ve güvenlik olaylarını kısa özetlerine indirgemektedir. Bu, sistem güvenliği görevlisinin, özellikle içerdeki yani yetkili kullanıcılar tarafından müdahaleleri tespit etmesi ve araştırması için tasarlanmıştır.



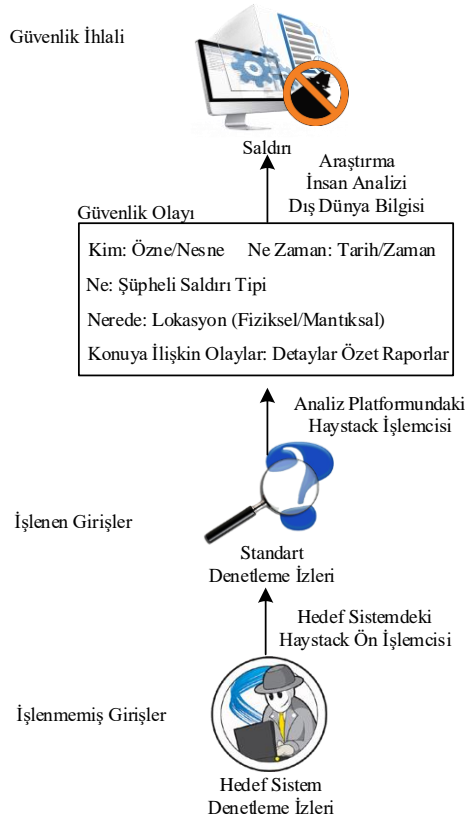
Şekil 3. Haystack operasyonel yapısı

Haystack'in operasyonu temelde, güvenlik politikaları, kullanıcı grupları ve bireysel kullanıcılar için tipik davranış modelleri temeline dayanan davranışsal kısıtlamaları vardır.

olarak belirsiz denetleme izi verilerinin sayısını, olası bilgisayar saldırılarının daha ayrıntılı incelenmesi için yorumlanan bilgilerin kısa özetlerine indirgemek için operasyonel bir yardımcı olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 5. Haystack kavramsal yapısı



Şekil 4. Haystack analiz mantığı

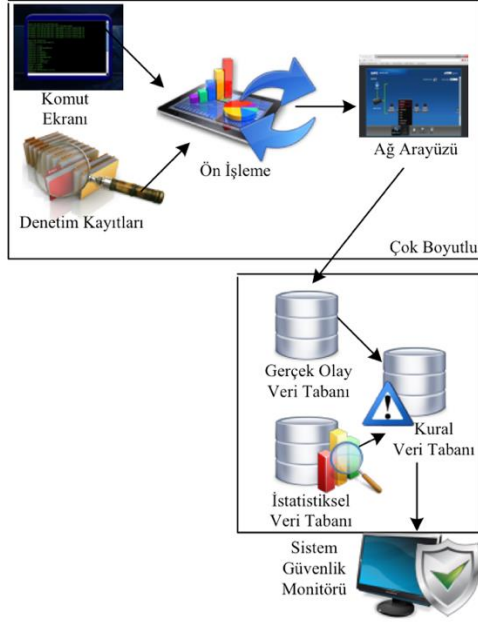
Haystack, "önleme" ipucu ve ilgili verilerin özetlerini sunarak her günün denetim iz dosyalarındaki anormal olaylarla ilgili raporları tutar. Kullanıcı etkinliğini, önceden tanımlanmış güvenlik kısıtlamaları ve tipik kullanıcı davranışının modellerine göre analiz eder. Haystack, sistem güvenliği görevlisi için genel

## W&S

W&S (Wisdom and Sense – Bilge ve His), Los Alamos Ulusal Laboratuvarlarında geliştirilen bir saldırı tespit sistemidir. Saldırı tespitinde kullandığı yöntemine göre anormallik tabanlı bir çalışma olup geliştirilmesine 1984 yılında başlanmasına rağmen ilk olarak 1989'da sunulmuştur. W kısmı "Bilge-Hikmet" anlamına gelmektedir ve geçmişteki denetleme verilerini analiz ederek normal davranışı oluşturması anlamına gelir. S kısmı ise "his" anlamına gelmekte ve normal davranışların kural haline getirilip uzman sistem içerisinde kullanılarak sonraki anormal davranışların yakalanması anlamına gelmektedir [Güven, 2007; Erol, 2005).

## Midas

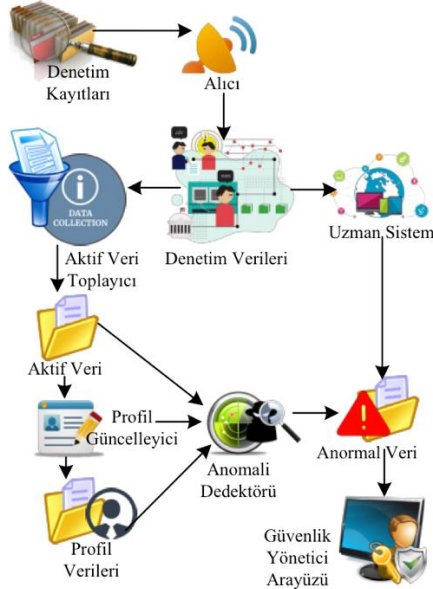
MIDAS (Multics Intrusion Detection and Alerting System), 1988 yılında NCSC (Ulusal Bilgisayar Güvenlik Merkezi), Bilgisayar Bilimleri laboratuvarı (Computer Science Laboratory) ve SRI (Stanford Araştırma Enstitüsü) işbirliği ile NCSC'nin ağa bağlanmış ana bilgisayarı Honeywell DPS-8/70 için saldırı tespiti sağlamak üzere geliştirilmiştir [Güven, 2007; Erol, 2005). MIDAS, sezgisel saldırı tespiti konsepti çevresinde geliştirilmiş uzman sistem tabanlı bir saldırı tespit sistemidir. MIDAS çalışma mimarisi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. MIDAS çalışma mimarisi

### İdes

İDES (Intrusion Detection Expert System), Denning ve Neuman'ın 1985'li yıllarda yaptıkları çalışmalar ile gündeme gelmiştir [Güven, 2007; Erol, 2005]. İDES, adından da anlaşılacağı gibi uzman sistem yapısındadır. Denning ve Neuman çalışmalarında İDES için gereksinimleri ve mimari yapıyı ortaya koymuşlardır.



Şekil 7. İDES çalışma mimarisi

Bu çalışmanın ardından, İDES üzerinde yapılan çalışmalar birçok araştırmacının da katkıları ile

1987-1992 yılları arasında yoğun olarak devam etmiştir. İDES prototipi, kullanıcı davranışlarını denetler ve geçmiş hareket profillerine göre normal ve anormal davranışları tespit eder. Kullanıcı davranışları zaman içerisinde değişebileceğinden kullanıcı hareket profilleri sürekli yenilenir. Bu STS, bir uzman sistem bileşeni içerdiğinden, önceki saldırılardan edinilen bilgilere dayanan özel davranışları, sistemin bilinen açıklıklarını ve kurulumu özel güvenlik politikalarını tanımlayan kurallar içerir. Şekil 7'de görüldüğü üzere İDES, başlangıçta tek bir sunucu için yapılandırılmıştır. Daha sonraki çalışmalarda yeniden tasarlanarak, birden fazla sistem için kullanılabilir hale getirilmiştir. Birçok versiyonu bulunan İDES yazılımı son olarak NİDES (Next-Generation Intrusion Detection Expert System) adını almıştır.

### Nadir

NADIR (The Network Anomaly Detection and Intrusion Reporter) 1991-1993 yılları arasında Los Alamos Ulusal Laboratuvarlarında (LANL-Los Alamos National Laboratory) bilgisayar ağları mühendisliği grubu tarafından geliştirilmiştir. NADIR, istatistiklere dayalı uzman sistem temelli bir saldırı tespit sistemidir. Çalıştığı sistemin kullanıcıları hakkında haftalık istatistikler tutar, her hafta gerçekleştirilen bu profil analizlerinin sonucunda elde edilen detaylı istatistik raporları uzman sistem kurallarıyla karşılaştırır ve kurallarla çelişen durumlar saldırı olarak değerlendirilir (Güven, 2007).

### Nsm

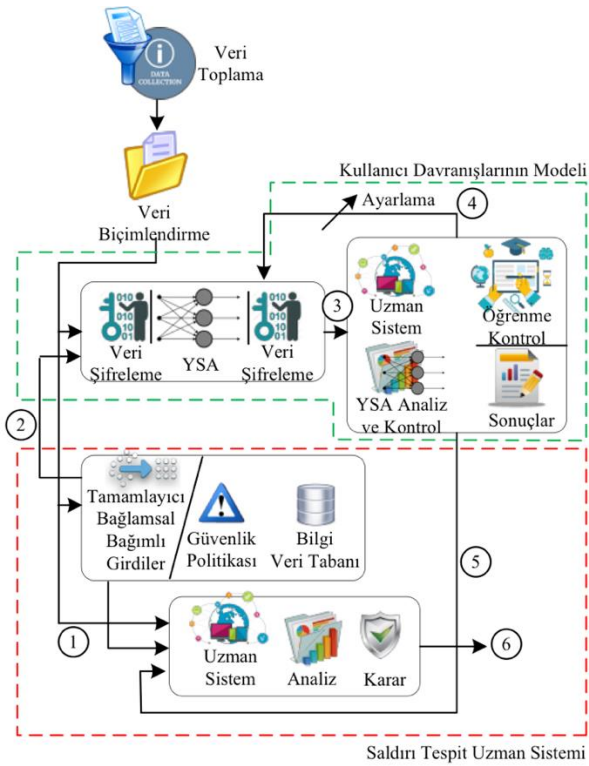
NSM (Network Security Monitoring) ağ güvenlik görüntüleyicisi anlamına gelen bir saldırı tespit sistemidir. NSM de İDES gibi çeşitli düzenlemelerden geçmiştir. 1990-1994 yılları arasında geliştirilen bir saldırı tespit sistemidir. Şekil 8'de çalışma mimarisi verilen NSM, ağı dinleyerek ağın kullanımıyla ilgili bir profil geliştirir ve geçerli kullanımı gerçek zamanlı olarak geliştirdiği profille karşılaştırır. Elde edilen veriler beklenen bağlantı verisiyle karşılaştırılır ve beklenen değerlerden sapma gösteren her veri anormal olarak kabul edilir (Güven, 2007).



Şekil 8. NSM çalışma mimarisi

### Hyperview

Hyperview 1992 yılında geliştirilmiş olan bir saldırı tespit sistemidir ve diğer saldırı tespit sistemlerinden oldukça farklıdır.



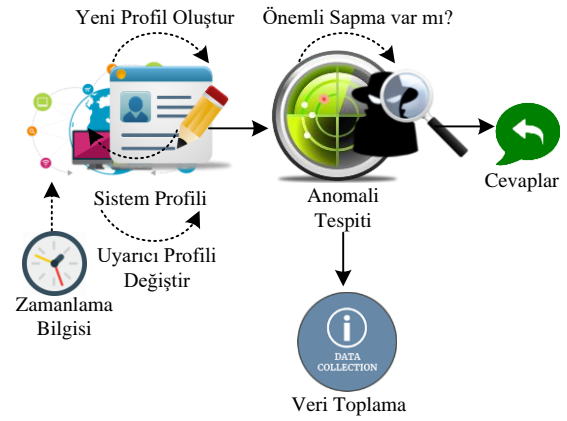
Şekil 9. Hyperview çalışma mimarisi

Çalışma mimarisi Şekil 9'da verilen Hyperview, iki ayrı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm davranışları izleyen ve bunları sınıflandıran bir uzman sistem içermektedir. İkinci bölümse birinci bölümdeki uzman sistemden öğrendikleri ile eğitilen yapay sinir ağlarını içeren bölümdür (Erol, 2005). Hyperview Şekil 9'da görüldüğü

üzere, (1) Denetim verilerinin değişimi ve Formasyonu, (2) Tamamlayıcı bağlamsal bağımlı girdi hesaplama, (3) YSA'nın ham çıktısı, (4) Denetlenen öğrenme ve çıktı yorumlaması, (5) Kullanıcının davranış modelinden girdiler ve (6) Nihai karar ve alarm üretimi olmak üzere altı alt bölümden oluşur.

### Ustat

USTAT (State Transition Analysis Technique for Unix Systems), 1993-1995 yılları arasında Unix sistemler için geliştirilmiş bir saldırı tespit sistemidir. Saldırı tespitinde durum geçiş analizi yöntemi kullanılmıştır. Çalışma mimarisi Şekil 10'da verilen bu STS'de, eğer bir davranış saldırı için tanımlı durum geçişlerini yapıyorsa saldırı olarak sınıflandırılmaktadır (İlgin, 1993).



Şekil 10. Ustat çalışma mimarisi

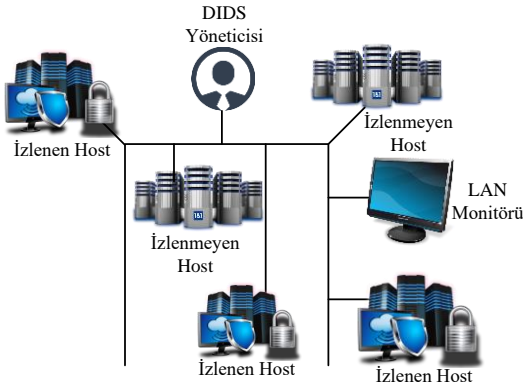
### Dids

DIDS (Distributed Intrusion Detection System), 1992 yıllarında geliştirilmiş dağıtık mimarili sistemleri kapsar. Şekil 2'de gösterildiği üzere STS'ler açısından mimari yapıya göre sınıflandırmalardan biri olan dağıtık mimari yapıli sistemler, Şekil 11'de gösterildiği gibi ağır çeşitli noktalarından verilerin toplanıp bir merkezde analiz edilmesi mantığına dayanmaktadır (Güven, 2007; Erol, 2005).

### Idiot

IDIOT (Intrusion Detection In Our Time), 1994-1996 yılları arasında CERIAS (Center for Education and Research in Information Assurance and Security)'da Kumar tarafından geliştirilmiş bir saldırı tespit sistemidir. Kumar'ın tasarımı olan IDIOT, saldırı yöntemlerinin eşleştirilmesi ve geçici

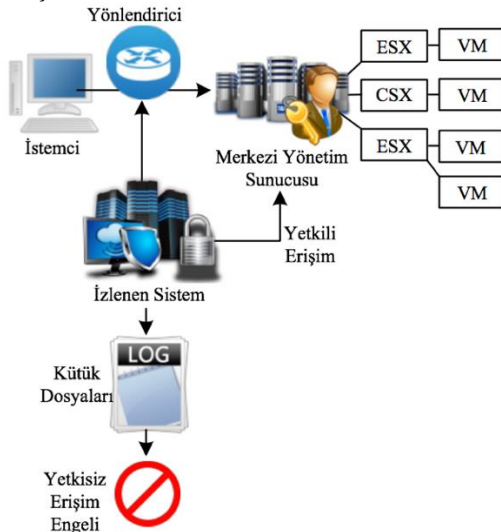
karakteristiklerin karmaşıklığına dayalı olan bir sınıflandırma yöntemi içermektedir (Güven, 2007).



Şekil 11. Dids çalışma mimarisi

### Janus

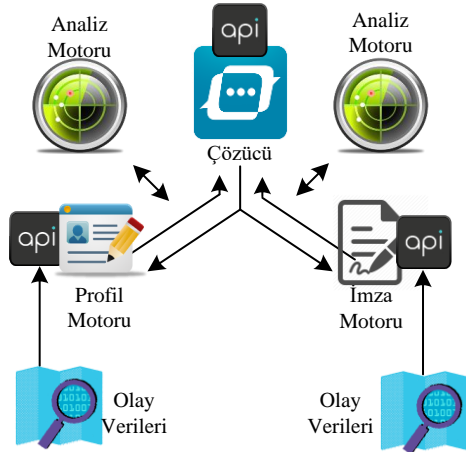
Janus, 1994-1996'da Berkeley Üniversitesi'nde Wagner tarafından tez çalışması sırasında geliştirilmiş bir sistemdir (Güven, 2007; Sazlı vd., 2007). Janus çalışma mimarisi Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Janus çalışma mimarisi

### Emerald

EMERALD (Event Monitoring Enabling Responses to Anomalous Live Disturbances), 1997-1998 yıllarında geliştirilmiş ölçeklenebilir, dağıtık mimari yapılı bir saldırı tespit sistemidir. Bilgi güvenliği ve saldırı tespit sistemleri alanındaki önemli ve diğer çalışmalar tarafından kaynak olarak kullanılan bir sistemdir (Erol, 2005). Emerald çalışma mimarisi Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. Emerald çalışma mimarisi

### Ripper

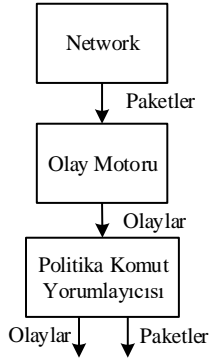
Ripper, 1999 yılında geliştirilmiştir. Bu STS, veri madenciliği yaklaşımını kullanır. Ripper, DARPA değerlendirmesine katılmış olan sistemlerden biridir (Erol, 2005).

### Bro

Bro, 1998'de Vern Paxson tarafından geliştirilmiş bir saldırı tespit sistemidir. Ağ trafiğini gerçek zamanlı olarak pasif gözetleme mantığı ile izleyerek saldırı tespiti yapmaktadır. Birçok değişik özelliği sağladığı için sıkça kaynak verilen bir STS'dir (Erol, 2005; Axelsson, 2000). Bu STS'yi diğer saldırı tespit sistemlerinden ayıran temel özelliği performansa dayalı analizler ve ağ sorunlarının çözümü için de destek sunmasıdır. Bro bu özelliği ile ağ trafiği analiz aracı olarak nitelendirilebilir. Zaman içerisinde işlevsellik kazanmış olan Bro en güçlü STS yapıları arasında girmiştir. Geliştirilmesine ICSI'da (International Computer Science Institute) devam edilmektedir. Bro, iki temel bileşenden oluşur. Bu bileşenler, (1) "Olay Motoru (event engine)" ve (2) "Politika komut yorumlayıcısı (policy script interpreter)" 'dır. Şekil 14, Bro bileşenlerini göstermektedir. Buradaki olay motoru ağ trafiğindeki paketleri ve protokolleri Bro'nun anlayacağı dile dönüştürür. Bro için belirtilen yaklaşık 320 olay türü vardır. Politika komut yorumlayıcısı ise Bro'nun betik dili ile yazılan olay işleyicilerinin çalıştırılması ile ilgilidir. Bu betikler ile ağ trafiği için oluşturulmuş olay türleri analiz edilir ve herhangi bir anormallik olması durumunda ne tür



işlemlerin gerçekleştirileceği ve bunların kayıt politikaları belirlenir.



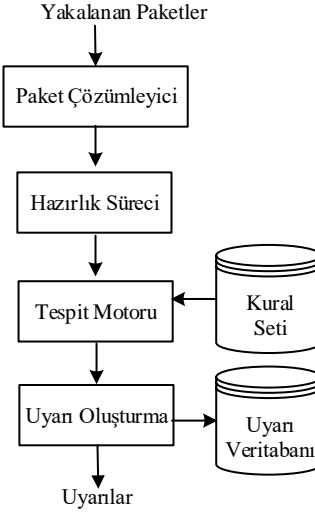
Şekil 14. Bro bileşenleri

Bro'nun genel özellikleri şöyle açıklanabilir. Linux, FreeBSD, MacOS gibi UNIX tabanlı işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. Gerçek zamanlı ya da offline analiz yapabilmektedir. Bro farklı sunucularda da çalışıp birbirleriyle iletişim sağlayabilir. Tüm HTTP trafiğini (sunucu /istemci istek ve cevapları, mime türleri, uri vb.), DNS istek ve cevaplarını, SSL sertifikalarını, SMTP oturumlarını, FTP trafiğini çözümleyerek kaydedebilmektedir. Ayrıca ağ akışını da kayıt altına almaktadır. Kayıtlar rahatça okunabilir şekilde (tab karakteriyle ayrılmış), ASCII formatında metin dosyalarına kaydedilir. Port bağımsız olarak uygulama katmanı protokollerinden DNS, FTP, HTTP, IRC, SMTP, SSH, SSL çözümlenebilmektedir. HTTP, FTP, SMTP, IRC trafiğinden geçen tüm dosyalarla ilgili bilgileri MD5/SHA1 özet değerleriyle birlikte metin formatında kaydedilebilmekte, istenildiği durumda bu dosyalar trafikten çıkarılıp belirtilen bir dizinde saklanabilir. Dış kaynaklar kullanarak (özet değeri eşleştirmeleri, IP itibar tabloları) çeşitli zararlı yazılımları tespit edebilmektedir. IPv6 protokolü kapsamlı bir şekilde desteklenmektedir. Betik dili sayesinde anında e-mail mesajı atabilir ve ağı sonlandırabilir. Libpcap kütüphanesini kullanır.

### Snort

Snort, 1990'ların sonunda Martin Roesch tarafından geliştirilmiştir. Gerçek zamanlı olarak ağ analizi yapabilen ve ağ paketlerini kaydedebilen açık kaynak kodlu, kural tabanlı bir saldırı tespit ve engelleme sistemi olan snort, ticari STS yapıları seviyesine ulaşmış ve oldukça

yaygın bir kullanıma sahiptir. Snort, paket çözümleyici, ön işlem, tespit motoru ve uyarı oluşturma şeklinde 4 temel modülden oluşmaktadır. Snort'un sahip olduğu bu modüller ve çalışma mantığı Şekil 15'te verilmiştir.

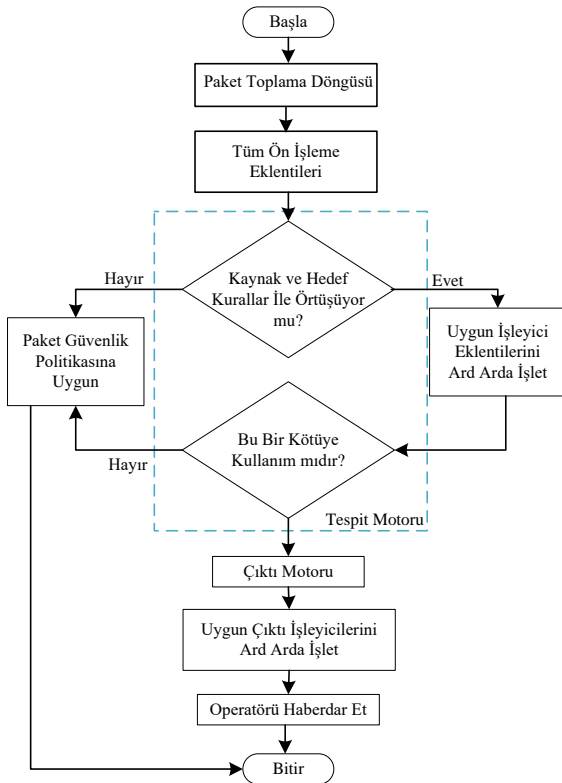


Şekil 15. Snort çalışma yapısı

Paket çözümleyici, Libpcap tarafından yakalanan katman 2 paketlerini ayrıştırır ve hazırlık sürecine gönderir. Hazırlık süreci, paketleri tespit motorunun anlayabileceği hale getirir. Tespit motoru Snort'un temel bileşenidir. Saldırı tespitinin yapıldığı kısımdır. Uyarı oluşturma kısmı ise tespit motoru tarafından yakalanan saldırılar için ne tür uyarı oluşturulacağını belirleyen kısımdır.

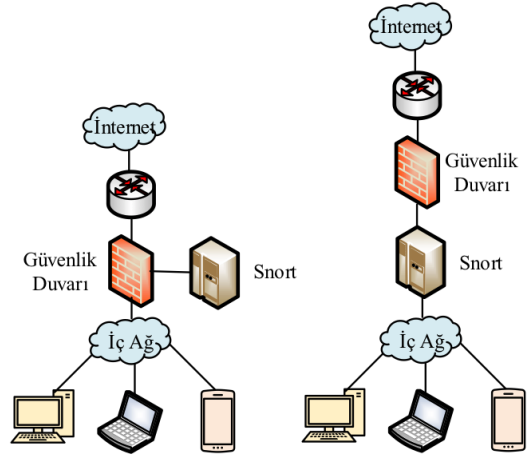
Snort, imza temelli ve anormallik tespiti yaklaşımlarının avantajlarını üzerinde barındırır. Protokol ve içerik analizleri yaparak birçok saldırı ve sızma girişimini tespit eder ve çeşitli alarm mekanizmaları ile kullanıcıyı uyarır. Saldırı imzalarının düzenli olarak güncellenmesi sayesinde oldukça farklı sayıda ve türde saldırıyı tespit edebilmek mümkündür. Açık kaynak kodlu ve sürekli geliştirilmeye açık olması popülerliğini artırmıştır. Ticari yazılımlarda kaynak kodun açık olmaması, ordu, kamu kuruluşları ve özel sektör gibi üst düzey güvenlik isteyen kuruluşlar tarafından Snort'un daha çok tercih edilmesini sağlamıştır. Farklı kullanım modları sayesinde kullanıcıya kolaylık sağlama ve yönetilebilir olması ise diğer önemli özelliklerindedir (Güven, 2007).

Snort saldırı tespit sisteminin üç farklı çalışma modu bulunmaktadır. Bunlar, ağ trafiğini izleme modu (packet sniffer), paket kaydedici modu (packet logger) ve ağ temelli saldırı tespit sistemi modu (NIDS)'dir. Paket izleme modu Tcpdump gibi çalışmakta ve bilinen paket izleme programlarına benzer yapıdadır. Paket loglama modu, istenilen türdeki paketlerin loglanıp analiz edilmek üzere saklanmasını sağlar. NIDS modu ise Snort'un asıl kullanım amacını barındırır. Bu mod, gelen paketlerin kullanıcı tanımlı kurallarla analiz edilmesini sağlar. Snort'un çalışma mantığını ve izah edilen farklı çalışma modlarını anlamak açısından Şekil 16'da verilen akış şeması yararlı olacaktır.

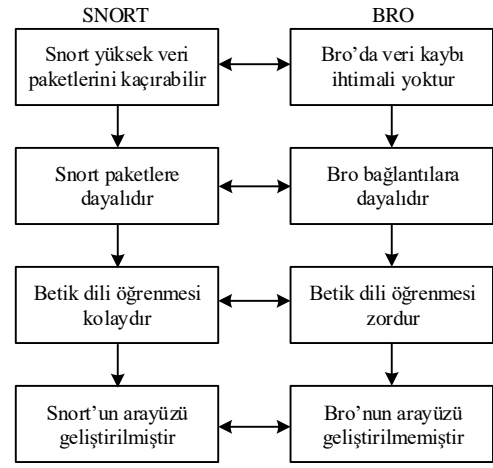


Şekil 16. Snort akış şeması

Snort'un temel olarak bir bilgisayar ağında konumlandırılması Şekil 17'de verildiği gibidir. Snort, güvenlik duvarının pasif izleme yeteneğini dinamik, öğrenen izleme kabiliyeti ile tamamlar. Buradan da anlaşıldığı gibi bilgisayar ağlarında firewall ile birlikte kullanılır ve olmazsa olmaz güvenlik araçlarından biridir. Şekil 18, Snort ve Bro saldırı tespit sistemlerinin bir karşılaştırmasını içermektedir.



Şekil 17. Snort'un konumlandırılma senaryoları



Şekil 18. Snort&Bro karşılaştırılması

### SnortSam

SnortSam, Snort sistemine "ses" özelliği katan bir eklentidir. SnortSam iki ana kısımdan oluşmuştur. Bu kısımlardan biri Snort için çıkış sistemidir, diğeri de güvenlik duvarı (GD) üzerinde ajan vazifesi görecektir. SnortSam kurulumundan sonra Snort kurallarına "fwsam" anahtar kelimesi eklenir. SnortSam'ın kullanımı fwsam anahtar kelimesiyle yapılır. Snort üzerine yazılan kurullar snortsam ajanı aracılığı ile güvenlik duvarına aktarılır ve engellenmesi gereken trafik güvenlik duvarı tarafından durdurulur.

### Selks

Debian üzerine, Suricata, Elasticsearch, Logstash, Kibana ve Scirius isimli bileşenlerini kullanarak oluşturulmuş, açık kaynak kodlu bir

saldırı tespit sistemidir. Debian bileşeninin kullanılmış olması Selks'i farklı kılmıştır. Selks, Stamus Networks tarafından geliştirilmiştir ve GPLv3 lisansı ile dağıtılmaktadır. SELKS için tanımlanmış 10'dan fazla varsayılan IDS dashboard (pano) bulunmaktadır (Joshua vd., 2013; McRee, 2011). Bu IDS Panoları, ALL, ALERTS, DNS, FILE-Transactions, FLOW, HTTP, HTTP-Extended-Custom, PRIVACY, SSH ve TLS şeklindedir. Selks STS'yi oluşturan bileşenler ise:

S- Suricata IDPS,  
E- Elasticsearch,  
L- Logstash,  
K- Kibana,  
S- Scirus şeklindedir.

**Suricata**, OISF (Open Information Security Foundation) tarafından geliştirilmiştir ve GPL lisansı ile dağıtılan bir tür saldırı tespit sistemidir.

**Elasticsearch**, esnek, güçlü ve ölçeklendirilebilir bir (full-text) arama ve analitik motorudur. Suricata üzerinden gelen alarmlar Elasticsearch üzerinde depolanmaktadır. Daha sonra depolanan alarmlar analiz edilmektedir.

**Logstash**, SELKS mimarisinde Suricata tarafından üretilen ham verinin sorgulanarak analiz edilebilmesine olanak sağlamak amacı ile formatlanması (JSON) ve Elasticsearch'e yazılmasını sağlamaktadır.

**Kibana** ise, Suricata tarafından üretilmiş bir SELKS bileşenidir. Logstash tarafından formatlanarak Elasticsearch tarafından depolanan verinin analiz edilip görselleştirilmesine imkân sağlar.

**Scirus**, Stamus Networks tarafından geliştirilen ve Suricata için web tabanlı yönetim arabirimi imkânı sunan bir başka açık kaynak kodlu bir projedir. Selks, eğer nodesktop şeklinde kurulacaksa minimum 4gb bellek, 2gb ram ihtiyacı olacağı düşünülmektedir. Fakat desktop seçeneği ile masaüstü sürümü kullanılacaksa minimum çift çekirdek kullanılması tavsiye edilir.

### Ossec

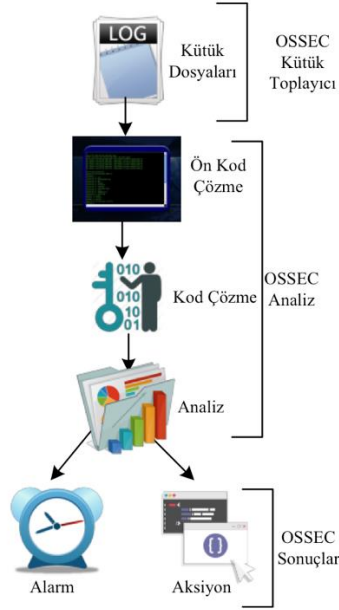
Ossec (Open Source Host-based IDS), Trend Micro firmasınınca desteklenen Linux, OpenBSD, Windows 2000/XP/2003/, FreeBSD, Vista, Solaris, OSX işletim sistemli bilgisayarlarda

herhangi bir sorun oluşturmadan kurulabilen ve bilgisayar üzerinde yüklü olan uygulamaların çalışmalarını kontrol eden, OPEN SOURCE (açık kaynak kodlu) bir STS aracıdır. Ossec, mevcut durumdaki veri paketleri, servis ve onların kaynaklarını kullanarak sistemi inceler ve kullanıcıları bu risklere karşı uyarır. Ossec, tek bir oturumda çalışabilmeye olanak tanıyarak, merkezi yönetim sağlayabilen agent/master yapıları bir host-based STS dir. Ossec, mevcut olan yapısından dolayı SIM/SIEM platformları ile de tümleşik olarak tasarlanabilir. Şekil 19'da çalışma mimarisi verilen Ossec, bu şekilde tanımlar oluşturabilmesinin yanında başka özelliklere de sahiptir (Joshua vd., 2013; Bray vd., 2008). Bu özellikler;

1) *Dosya Bütünlük Kontrolü*: File Integrity Monitoring (FIM) denen özellik, temelinde sistemde var olan dosyaların belirli aralıklarla kontrol edilmesi kuralını temel almaktadır. Yapılan her kontrolde, var olan dosyaların toplamından MD5 tarzı şifreleme algoritmalarıyla bir şifre oluşturulur. Dosyaların boyutlarında veya diğer özellikler bazında yapılan değişikliklerin tarih ile kayıt altına alınması yoluyla oluşturulan şifre, yapılan kontrollerde bir önceki şifre ile kıyaslanır. Böylelikle dosyalarda herhangi bir değişiklik olup olmadığı gözlemlenir. Değişikliğe uğramış dosyaların tespitini ve yapılan değişikliklerin sistem yöneticisine bildirilmesini temel hedef edinmiştir. Sisteme sızmayı amaçlayan her çeşit saldırının ortak noktasının sistemde mevcut olan dosyalar üzerinde değişiklik yapmak ya da sisteme bir takım dosyalar ilave etmek olduğu biliniyorsa, HIDS'ler açısından dosya bütünlük kontrolünün önemli bir bileşen olduğu söylenebilir. Sistemlerde meydana gelebilecek bu değişiklikleri, değişiklik olduğu an tespit etmek büyük önem arz etmektedir.

2) *Rootkit Tespiti* (rootkit detection): Rootkit, sistemde mevcut olan süreç/dosya yapılarını gizlemek şartı ile işletim sisteminin gerçeği görmesine engel olmak amacıyla geliştirilmiş olan yazılımlardır. Örnek verilecek olursa; "ps" komutunun görevini değiştirmek için oluşturulan rootkit, sistemdeki kullanıcıların tüm süreci görüntülemesi için verilen izni kaldıracaktır. Bu özellik ile Ossec, sistemdeki mevcut rootkitlerin

tespit edilmesini sağlayarak tehlikelere karşı uyarı verir.



Şekil 19. Ossec çalışma mimarisi

3) *Log Monitoring*: Değişikliklerin tespit edilmesinin hemen ardından ise kontrolü yapılması gereken log dosyalarıdır. Bu amaca hizmet etmek ve bu soruna çözüm bulmak amacıyla sistem loglarını izleyen OSSEC, analiz işlemini gerçekleştirir ve bir problemin tespitinde hemen alarm oluşturarak sistem yöneticisine bu konuda bilgi verir. Bu duruma örnek vermek gerekirse, sistem üzerinde bir paket kurulduğu vakit ya da web sunucusunun loglarına bir sızma girişimini belirten satırlar gelmeye başladığında, alarm üretilir ve bu durumun farkına varılması, sisteme sızma girişiminin tespitine katkı sağlamış olur. Ossec, bu özellikleri ile rakiplerinden daha fazla ön plandadır. Open Source (açık kaynak kodlu) yazılım olması ve genel kamu lisansı ile dağıtılmasından dolayı da STS araçları arasında en fazla tercih edilenler arasındadır.

### Firestorm

Firestorm, son derece yüksek performansa sahip bir ağ saldırı tespit sistemidir. Firestorm son derece esnek ve bundan dolayı yönetilebilir bir yapıya sahiptir. Bu özelliğiyle diğer sistemlere göre çok daha iyi bir performans gösterir. Firestorm ilk olarak sadece bir sensör

niteliğindedir, daha sonra uzaktan kontrol, raporlama ve analiz için gerekli destekler verilmesi planlanmıştır. Ağ üzerinde şüpheli paketleri belirlemeye yarayan Firestorm, durum bilgilerini analiz edebilir, IP çerçevelerini yeniden oluşturup, TCP bağlantılarını izleyebilir. Firestorm uygulama katmanı üzerinde çalışabilen tüm protokolleri çözebilme kapasitesine ve anomali tespiti modüllerini destekleyebilecek altyapıya sahiptir. Firestorm ayrıca snort gibi ağ trafiğini kontrol eder ve bu analiz sonucu oluşan kayıtları tutar. Firestorm, DOS saldırılarına karşı kendini koruyabilme ve uyarı verme yeteneğine sahiptir (Leach vd., 2003).

### Kfsensor

KFSensor, Windows tabanlı honeypot bir STS'dir. KFSensor, honeypot gibi zayıf bir sistem gibi görünerek hacker, solucan ve trojanları tespit eder. Bu tespit işlemini gerçekleştirirken port taramaları yaparak sisteme sızmaya çalışanları belirler ve .txt uzantılı log kaydı tutar. KFSensor Windows tabanlı olarak kurumsal bir ortamda kullanılmak amacıyla tasarlanmış, Snort uyumlu imza motoru, MS Windows ağ protokolleri ve emülasyonlar gibi birçok yenilikçi ve benzersiz özellikler barındırır. KFSensor'un yüklenmesi ve yapılandırılması kolaydır. Hiçbir özel donanım gerekmez ve etkin tasarımı, düşük özellikli Windows makinelerinde bile çalışmasını sağlar. Basit Windows arabirimi tüm işlevleri denetler. Karmaşık yapılandırma dosyalarını düzenlemeye gerek yoktur ve gerekli tüm önemli sistem hizmetleri ile önceden yapılandırılmıştır.

KFSensor, OSI Ağ Modelinin en üst düzeyindeki - uygulama katmanı- sistem servislerini taklit ederek çalışmaktadır. KFSensor çalıştıran bir makine, yönlendiricilere ve güvenlik duvarlarına karmaşık değişiklikler yapmaya gerek kalmadan ağdaki başka bir sunucu gibi davranır. KFSensor, bir ağdaki saldırıların doğasını ve miktarını ortaya çıkarmak için faydalar sağlar. KFSensor'un ürettiği bilgiler, güvenlik duvarı kurallarını iyileştirmek ve ağ saldırı tespit sistemleri için yeni imzalar üretmek için kullanılabilir. KFSensor, ağ güvenlik altyapısını

geliştirmenin son derece uygun maliyetli bir yoludur. Kendine ait olan GUI tabanlı yönetim konsolu, kapsamlı dokümantasyon ve düşük bakım maliyeti nedeniyle KFSensor bir kuruluşun ağ güvenliğini sağlamak için uygun bir çözüm sunar (Kfsensor, 2003).

### Suricata

Suricata, ticari kaygı barındırmayan bir oluşum olan OISF (Open Information Security Foundation) tarafından geliştirilmiş Open Source (Açık Kaynak Kod) bir saldırı tespit sistemidir. İmza/kural tabanlı olarak çalışan Suricata, gelen saldırıları tespit etmesinin (IDS) yanında bu saldırıları engelleme (IPS) özelliğine de sahiptir. Bu özellik (IPS) ile yakalanan paketlerin çalıştırılması, reddedilmesi ve istatistiksel bilgilerinin tutulmasına da imkân sağlar. Suricata tarafından sistem çalışması yapılırken kullanılacak yeni mod, başlangıçta verilecek parametreler ile düzenlenmektedir. Çalışma sürecinde ise kural ekleme-çıkarma işlemi yapılmasına olanak tanıyan Suricata, IPv6 yapısını da desteklemektedir. Bu özelliklerden farklı olarak Suricata, bazı ek özellikler ile de yenilik getirmiştir. Bu özellikler (Joshua vd., 2011; Manev, 2012): (1)HTTP kütüphanesi: HTTP trafiklerinin ayrıştırılmasına olanak tanıyarak, saldırganların STS'leri atlatarak sisteme sızma girişimlerini engelleyen bir normalizasyon aracıdır.

*Çoklu iş parçacıkları:* Paket işleme işlevi farklı bölümlerde yapılmaktadır. Yani paketler farklı makinelerde çalışıyormuş gibi dağıtık olarak işlenmekte ve performansta artış sağlanarak yük dengesi yapılmaktadır. Bu işlem Multi-threaded olarak bilinmektedir. Suricata Unix soket modunda işlem görerek ağ trafiğini pcap formatında kayıt edilmesini sağlar. Kaydedilen bu ağ trafiği kayıtları daha sonra offline olarak analiz edilebilmektedir. Ayrıca Suricata, HTTP istekleri, SSH bağlantıları, TLS el sıkışmalarını kaydedebilmeye olanak tanımaktadır. Suricata işleyişinde 4 kısma ayrılmaktadır (Joshua vd., 2011). Bu kısımlar:

**Paket Yakalama Modülü:** Capture Module olarak bilinen bu modül, belirlenmiş olan paketlerin Ethernet kartından Suricata'ya iletilmesini

sağlamaktadır. Bu modül, paketlerin farklı veri bağı çözümleyicileriyle uygun olarak çalıştırılmasını sağlar.

**Paket Çözümleme Modülü:** Decoding Module denilen bu modül ise paketlerin ara belleğe alınarak Suricata'nın kullanabileceği veri yapısına çevrilmesinden sorumludur. Burada paketler veri linklerine göre ayrılıp, çözümleyiciler tarafından işlenmiş olurlar.

**Akış İşlemleri Modülü:** Stream Module denilen bu yapı ise temelde 3 görev üstlenmektedir. Bunlar:

- Ağ bağlantılarının doğru olması için akış takibi,
- TCP bağlantılarında tekrar oluşturulan ana akış için paketlerin sıralanması,
- HTTP - DCERPC analiziyle uygulama katmanı denetimi.

**Tespit Modülü:** Detect Module, yapılandırılmış kuralların belirlenip yüklenmesi, tespitin başlaması ve kuralların paketler ile eşleştirilmesine olanak tanır.

Suricata'da tanımlanmış 3 profil mevcuttur. "yüksek, orta ve düşük" olmak üzere oluşturulmuş bu profiller içerisinde, varsayılan profil, bellek kullanımı ile performans arasında bir denge sağlayan "orta" dır.

### Snorby

Snorby, Snort, Suricata gibi popüler saldırı tespit sistemli uygulamalar gibi ağ güvenliğini izlemek amacıyla, Ruby Dili ile yazılmış bir uygulamadır [26]. Ruby ile bir deneyim kazanmadan, çalışma yapılmadan Snorby ile uğraşmak zor olabilmektedir. Saldırı tespit sistemimizde doğru ayar ve güncellemeleri yapmak için Snorby'yi iyi bir şekilde kavramak önemlidir. Snorby, sensörlerden gelen IDS/IPS alertlerini toplayan, merkezi bir konsol olarak da kabul edilebilir. Snorby'nin diğer STS uygulamalarından farkı daha fonksiyonel olmasıdır (Snorby, 2010).

### Phpids

PHPIDS, PHP web uygulamalarında kullanılan açık kaynak kodlu, hızlı, kullanımı kolay, iyi yapılandırılmış ve güvenilir bir saldırı tespit sistemidir. PHPIDS web uygulamaları üzerinde

çapraz site betikleme (XSS), SQL Enjeksiyonu (SQL Injection), başlık enjeksiyonu (Header Injection), Dizin atlama (Directory Traversal), RFI/LFI, hizmet engelleme (DOS) gibi saldırı türlerini analiz edebilmektedir (Phpids, 2007).

PHPIDS kötü bilinen uygulamaları tespit etmek için birkaç düzenli uygulama ile çalışır. Bunu yapmak için temelde kara liste yaklaşımını, bilinmeyen saldırı örüntülerini yakalamak için sezgisel yaklaşımlar ile birleştirir. Özel dönüşüm algoritmaları sayesinde PHPIDS, sisteme sızan saldırıların tespit edilmesi ve bunların kayıtlarının tutulmasını sağlar.

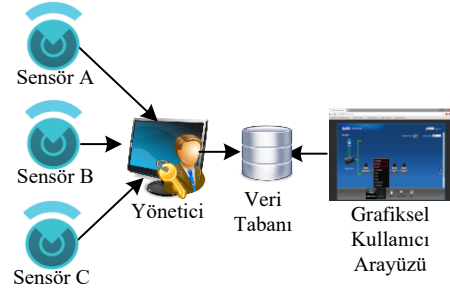
### .Net Ids

.NETIDS olarak isimlendirilen bu araç, web tabanlı .NET uygulamalarını korumanın diğer bir yoludur. Bu araç, web uygulamalarına karşı yapılan saldırıları tespit yeteneğine sahiptir. .NETIDS ile oluşturulan saldırı tespit sisteminin dosyaları, mümkün olan saldırılarla etkileşime geçmek için filtreleme kuralları ve fonksiyonlar barındırır. .NetIDS, daha önce var olan PHPIDS'in .Net framework için geliştirilmiş olan bir türüdür. .NETIDS'in kütüphanesi, CLS uyumludur ve PHP versiyonundaki filtreleme sistemleri benzer şekilde uygulanmıştır. .NETIDS sistemleri ile kullanılan herhangi bir .Net uygulaması için ek koruma katmanları oluşturmak temel amaçtır. Bunun yanında .NETIDS, XSS'in belirlenmesi, SQL Injection, zararlı JS nesne ve metotlarına karşı koruma, gelişmiş loglama fonksiyonları, filtreleme kuralları ve arayüzleri kategorize etme ve etiketleme özelliklerini içerir (.Netids, 2007).

### Prelude

Prelude bir SIEM (Bilgi Güvenliği Tehdit ve Olay Yönetimi) yani güvenlik kontrol aracıdır. Prelude, merkezi bir yönetim noktası sağlamak amacıyla ağın güvenlik bilgilerini toplar ve bu bilgileri merkezileştirir. Günlük dediğimiz kütük dosyalarının analizi ve ilişkilendirilmesi sayesinde Prelude, ağdaki gerçek zamanlı saldırı girişimlerini tespit eder ve tehditler konusunda uyarı verir. Şekil 20'de basit mimari yapısı verilen Prelude, büyük veriler üzerinde gelişmiş

kalıcı tehditlerin (APT) önlenmesini sağlayabilecek zayıf sinyalleri tanımlamak için birkaç araştırma ve raporlama aracı sunar. Sonuç olarak, Prelude, güvenlik konusunda; operatörlerin işini ve risk yönetimini basitleştirmek için operasyona yardımcı olacak tüm araçlara sahiptir (Prelude, 2012).



Şekil 20. Prelude basit mimari yapısı

### Aide

AIDE, gelişmiş izinsiz giriş algılama ortamı adıyla bilinen, bir dosya ve izin bütünlüğü denetleyicisidir. AIDE, çalışma mantığı olarak temelde, yapılandırma dosyasından bulunduğu düzenli ifade kurallarından bir veri tabanı oluşturur. Bu veri tabanı başlatıldığında, dosyaların bütünlüğünü doğrulamak için kullanılabilir. Dosyanın bütünlüğünü kontrol etmek için ise kullanılan birkaç mesaj özet algoritmasına sahiptir. Genel olarak işleyişte yer alan her zamanki dosya özelliklerinin tümü de tutarsızlıklar açısından kontrol edilebilmektedir. Eski veya daha yeni sürümlerden veri tabanlarını okuyabilme özelliğine de sahip olan AIDE: md5, sha1, rmd160, tiger, crc32, sha256, sha512, whirlpool (ek olarak libmhash: gost, haval, crc32b) gibi mesaj özet algoritmalarını da desteklemektedir. Ayrıca: Dosya türü, İzinler, Inode, Uid, Gid, Bağlantı adı, Boyut, Blok sayısı, Bağlantıların sayısı, Mtime, Ctime ve Atime gibi dosya öznitelikleri de desteklenmektedir (Aide, 2004).

### Samhain

Host tabanlı bir saldırı tespit sistemi (HIDS) özelliği taşımaktadır. Samhain dosya bütünlüğünün denetimi ve günlük dosyası izleme/analizinin yanı sıra rootkit algılama, bağlantı noktası izleme, sahte SUID

çalıştırılabilir dosyalarını algılama gibi özellikleri sahip olmakla birlikte sistem üzerindeki gizli süreçleri de tespit etme olanağı sağlar. Samhain, tek bir ana bilgisayarda bağımsız uygulama olarak kullanılabilir olmasına rağmen, merkezi olarak günlüğe (log) kaydetme ve bakım sağlayarak potansiyel olarak farklı işletim sistemleri olan birden çok ana bilgisayarı izlemek üzere tasarlanmıştır. Ayrıca, POSIX sistemleri (Unix, Linux, Cygwin / Windows) için açık kaynak kodlu çoklu platform uygulamasıdır (Samhain, 2001).

### Acar-m-ng

Bilgisayar ağlarındaki trafik analizlerini önemli ölçüde kolaylaştırabilen bir uyarı korelasyon yazılımıdır. Sırasıyla NIDS ve HIDS olarak da bilinen ağ ve ana sensörler tarafından gönderilmiş olan toplama ve korelasyon uyarılarından sorumludur. Gerçekleştirilmek istenen korelasyon süreci, benzer olayları kötü amaçlı etkinliğin mantıksal parçalarını temsil eden grupları birleştirerek, bir sistem yöneticisi tarafından görüntülenmesi gereken toplam mesaj sayısını olabildiğince aza indirmeyi amaçlar. Bu tür uyarı gruplarına meta-uyarılar denir ve tek bir makinedeki bir grup başarısız kullanıcı girişinden, servis tanıma, ardından giriş girişimi veya bir bot ağı kurma gibi daha karmaşık saldırı senaryolarına kadar değişebilir (Acar-m-ng, 1991).

**Tablo 1.** Saldırı tespit yöntemine göre güncel STS araçlarının karşılaştırılması

STS	Saldırı Tespit Yöntemi	STS Türü
Snort	Anormallik Tespiti, Kötüye Kullanım	IDPS, NIDS
Bro	İmza, Kötüye Kullanım	NIDS
Selks	İmza, Kötüye Kullanım	NIDS
Suricata	İmza, Kötüye Kullanım	IDPS, NIDS
Ossec	Anormallik Tespiti, Kural Eşleştirme	HIDS
Kfsensor	İmza, Kural Tabanlı	Honeypot IDS
PhpIDS	Anormallik Tespiti, İmza, Kural Tabanlı	HIDS
.NetIDS	İmza, Kural Tabanlı	HIDS
Firestorm	Anormallik Tespiti, İmza, Kural Tabanlı	NIDS

Bilgisayar kümesinin ve/veya ağ saldırılarının hedefi olan bir ağın operatörü olarak çalışan yöneticiler için bu araç, olaylara tepki süresini azaltarak, sistem güvenliğine daha fazla zaman tanıyacak şekilde yararlı olabilme özelliğine de sahiptir. Tablo 1, mevcut saldırı tespit sistemlerinin karşılaştırılmasını içermektedir. Karşılaştırma kriteri olarak saldırı tespitinde kullanılan yöntem ve çalışma mantığını içerecek şekilde STS türü nitelikleri kullanılmıştır. Tablo 2 ise saldırı tespit sistemlerinin çalışma zamanı, kullanılan veri ve mimari yapı özellikleri bazında sınıflandırılmasını sunmaktadır.

**Tablo 2.** Bazı STS araçlarının sınıflandırılması

STS	Çalışma Zamanı	Kullanılan Veri	STS Mimari
Snort	Gerçek Zamanlı	Ağ	Hibrit
Bro	Gerçek Zamanlı	Ağ	Merkezi
Selks	Gerçek Zamanlı	Ağ	Merkezi
Emerald	Gerçek Zamanlı	Ağ, Sunucu	Dağıtık
Suricata	Gerçek Zamanlı	Ağ	Merkezi
Haystack	Gerçek Zamanlı Değil	Sunucu	Merkezi
Ossec	Gerçek Zamanlı	Sunucu	Dağıtık
Kfsensor	Gerçek Zamanlı	Ağ	Merkezi
PhpIDS	Gerçek Zamanlı	Ağ	Merkezi
.NetIDS	Gerçek Zamanlı	Ağ	Merkezi
Firestorm	Gerçek Zamanlı	Ağ	Merkezi
DIDS	Gerçek Zamanlı	Ağ, Sunucu	Dağıtık
Tripwire	Gerçek Zamanlı Değil	Sunucu	Merkezi
FIRE	Gerçek Zamanlı Değil	Ağ	Merkezi
Snorby	Gerçek Zamanlı	Ağ	Merkezi

### Sonuç

Günümüz dünyasında ticari ve resmi kurum/kuruluşlar çalışmalarında yoğun olarak bilgi kullanımına ihtiyaç duymaktadırlar.

Gelişen teknoloji ile birlikte, geçmişe dair bilgilerin önemi de artmakta ve bu veriler istatistiksel olarak çeşitli araştırma sonuçları için kullanılmaktadır. Bu sebeple bilginin güvenli bir şekilde saklanması ve istenildiği zaman, yetkili kişiler tarafından kullanılabilir durumda olması oldukça önemli bir hal almıştır. Bilginin önem düzeyinin artması ve bu sebeple bilgiye olan bu bağımlılığın yükselmesi bilginin korunması için kullanılması gerekli olan sistemleri de zorlu kılmaktadır. Bu sistemler bilgiye yönelik olası tehditlerin veya saldırıların tespit ve engellenmesinde kullanılırlar. Ayrıca saldırılar sonucu oluşabilecek bilgi tahribi, silinmesi, bütünlüğünün ve/veya gizliliğinin zarar görmesi, sistem altyapısının bozulması ve dolayısıyla meydana gelebilecek maddi manevi kayıpların önlenmesi açısından önem arz ederler. Bilgi, kurumdaki diğer varlıklar gibi, kurum için önem taşıyan ve bu nedenle de en iyi şekilde korunması gereken bir varlıktır. Bilgi güvenliği; kurumdaki işlerin sürekliliğinin sağlanması, işlerde meydana gelebilecek aksaklıkların azaltılması ve yatırımlardan gelecek faydanın artırılması için bilginin geniş çaplı tehditlerden korunmasını sağlar. Bilgi hangi formda olursa olsun, mutlaka uygun bir şekilde korunmalıdır. Bilgi güvenliğinin başarılı bir şekilde sağlanabilmesi, bilginin gizliliği, bütünlüğü ve kullanılabilirliği etmenlerinin tam anlamıyla korunması ile mümkündür. Bu amaçla kullanılacak güvenlik sistemlerinin vazgeçilmez temel bileşenlerinden biri de saldırı tespit sistemleridir. Bilgi güvenliği bir süreçtir. Bu sürecin her bir unsuru tek başına yeterli değildir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında incelenen saldırı tespit ve engelleme sistemleri de bütün bir ağ veya sistemin güvenliğini sağlayabilir demek afaki bir görüş olacaktır. Diğer ağ güvenliği sistemleri ile birlikte kullanılan saldırı tespit ve engelleme sistemleri, bilgi güvenliğini tamamlayıcı bir unsur olarak oldukça yararlı olacaktır.

Bu makale çalışmasında, bilgi güvenliği sistemlerinde yaygın olarak kullanılan STS'ler incelenmiştir. Özellikle veri tabanlarından veri ambarlarına, veri ambarlarından ise "büyük veri" olarak literatüre giren veri yığınlarının kullanıldığı günümüzde STS'ler bilgi güvenliği

sistemlerinin olmazsa olmaz bir parçası olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda, yeni geliştirilen saldırı örüntülerini de yakalama potansiyeline sahip olan akıllı-öğrenen saldırı tespit sistemlerinin geliştirilmesi gerektiği açıktır. Ayrıca özellikle STS'lerin olumsuz özelliği olan yanlış alarm seviyesinin düşük olduğu yeni sistemlere de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu inceleme çalışmasında, özellikle geçmişten günümüze yeni nesil saldırı tespit sistemleri üzerinde durulmuş ve bu sistemlerin bir karşılaştırılması da sunulmuştur. Yapılan araştırmalar, bilgisayar ağ güvenliğinin en önemli yapılarından birisi olan saldırı tespit ve engelleme sistemlerinin önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bu önem sebebiyledir ki, saldırı tespit ve engelleme sistemleri sürekli olarak güncellenmekte ve yeni tür saldırı tespit yazılım ve donanımları geliştirilmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Biriminin (FÜBAP) TEKF.15.04 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- ACARM-ng. "Alert Correlation, Assessment and Reaction Module-Next Generation". <http://www.acarm.wcss.wroc.pl> (28.02.2018).
- AIDE. "Advanced Intrusion Detection Environment". <http://aide.sourceforge.net/> (24.02.2018).
- Ağ Güvenliği. "Sızma Belirlemede Anormallik Tespiti Kullanımı". <http://web.itu.edu.tr/orencik/SizmaBelirlemedeAnormallikTespitiKullanimi.pdf> (01.02.2018).
- Anderson J.P. "Computer Security Threat Monitoring and Surveillance", *Technical Report*. James P. Anderson Co., Fort Washington, PA, 1980.
- Axelsson, S. "Intrusion detection systems: A survey and taxonomy", *Technical Report 99- 15*, Dept. of Computer Eng. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 1-23 (2000).
- Baykara M, Daş R, Karadogan İ. "Bilgi Güvenliği Sistemlerinde Kullanılan Araçların İncelenmesi", *1st International Symposium on Digital Forensics and Security (1. Uluslararası Adli*



- Bilişim ve Güvenlik Sempozyumu*”, 231-239, 20-21 Mayıs 2013, Elazığ - Turkey.
- Biermann, E. Cloete, L. M. Venter. “A Comparison of Intrusion Detection Systems”, *Computers & Security*, vol. 20 pp. 676-683, 2001.
- Bray R, Cid D. Hay A. “OSSEC Host-Based Intrusion Detection Guide”. Foreword by Stephen Northcutt, President The SANS Technology Institute, 2008.
- Dayıoğlu B, Özgüt A. “İnternet’de Saldırı Tespiti Teknolojileri”, *İletişim Teknolojileri I. Sempozyumu ve Fuarı*, 17-21 Ekim 2001, Ankara.
- Depren O, Topallar M, Anarım E, Ciliz, M.K. “An Intelligent Intrusion Detection System (IDS) for Anomaly and Misuse Detection in Computer Networks”, *Expert System with Applications*, vol. 29 pp. 713-722, 2005.
- İlgun K. “Ustat: A real-time intrusion detection system for Unix”, *Proceedings of the 1993 IEEE Symposium on Research in Security and Privacy*, Oakland, California, 16-28, (1993).
- Fisch, Eric A. and Gregory B. White. “Secure computers and networks: analysis, design, and implementation”, CRC Press, 1999.
- Güven, E. N. Sağıroğlu Ş. “Saldırı Tespit Sistemleri Üzerine Bir İnceleme”, *3. Uluslararası Katılımlı Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı*, Ankara, 2008.
- Güven E. N. “Zeki Saldırı Tespit Sistemlerinin İncelenmesi, Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- Joshua, S. Whitea, Thomas T. Fitzsimmons, Jeanna N. Matthewsc, “Quantitative Analysis of Intrusion Detection Systems: Snort and Suricata”, Wallace H. Coulter School of Engineering Department of Computer Science, 2011.
- Kfsensor. “Advanced Windows Honeypot System”. <http://www.keyfocus.net/kfsensor> (06.01.2018).
- Manev, P. “Windows Installation Guide for Suricata IDS/IPS”. Open Information Security Foundation, Document Version 1.3, 2012.
- McRee R. “BroIDS with Logstash and Kibana”, ISSA Journal pp. 37-39, September 2013.
- NETIDS. “Intrusion detection system for .NET based on phpids”. <https://code.google.com/p/dotnetids/> (12.02.2018).
- Pasin Ş. “Çok Algılayıcı Saldırı Tespit Sistemleri”, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Veri ve Ağ Güvenliği Dersi Projesi, 2002.
- Patcha A. Park J.M. “An overview of anomaly detection techniques: Existing solutions and latest technological trends”, *Computer Networks*, 51(12): pp.3448-3470, 2007.
- Phpids. “PHP-Intrusion Detection System”. <https://github.com/PHPIDS/PHPIDS> (12.06.2016).
- Prelude.”Prelude Security Information & Event Management”. <http://www.prelude-siem.com/en> (24.02.2018).
- Samhain. “File integrity / host-based intrusion detection system”. <http://www.la-samhain.de/samhain/> (25.02.2018).
- Sancak, S. “Saldırı Tespit Sistemi Tekniklerinin Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 2008.
- Sazlı H, M Tanrikulu. “Saldırı Tespit Sistemlerinde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması”, *XII. Türkiye’de İnternet Konferansı*, 8-10 Kasım, Ankara, 2007.
- S. E. Smaha, "Haystack: an intrusion detection system," *Aerospace Computer Security Applications Conference*, Fourth, Orlando, FL, pp. 37-44, 1988.
- Snorby. “Ruby On Rails Application for Network Security Monitoring”. <https://github.com/Snorby/snorby> (02.01.2018).
- Şahinaslan E, Kantürk, A, Şahinaslan, Ö, Borandağ, E. "Kurumlarda bilgi güvenliği farkındalığı, önemi ve oluşturma yöntemleri", *Akademik Bilişim*, 9, 11-13, 2009.
- Weijian Huang, Yan An, Wei Du. “A Multi-Agent-Based Distributed Intrusion Detection System”, *3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, vol.3, pp.141-143, 20-22 Aug. 2010.
- Yıldız E, Arıcı N. “Gerçek Zamanlı Bir Saldırı Tespit Sistemi Tasarımı Ve Gerçekleştirimi”, *E-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 1A0072, 5, (2), 143-159, 2010.

## Investigation of intrusion detection and prevention tools

### Extended abstract

*The importance of information security in the digital information age with technological developments, is increasing day by day. In terms of individual and institutional, storage of information, protection privacy and guarantee reaching by authorized persons only to the accessibility is very important. Many different studies carried out in order to ensure security in information systems and are continuing to do. In this study, one of the indispensable tools of information security intrusion detection systems have been examined in detail. After detailed review, these tools have been classified according to data source, architectural structure and working time. In addition, these tools have been compared according to the type of intrusion detection system and intrusion detection method.*

*In today's world, commercial and official institutions/ organizations need to use intensive information in their work. With the developing technology, the importance of past information also increases, this data is used statistically for various research results. For this reason, it has become very important that the information is stored safely and when it is requested, it can be used by the authorized persons. Increased level of importance of the information for this reason rise of the addiction of information makes compulsory the systems that are required to be used for the protection of information. These systems are used to detect and prevent possible threats to information. In addition, the consequences of the attacks are important in terms of the destruction, deletion, destruction of integrity and / or confidentiality, the deterioration of the system infrastructure and thus the material moral losses that may occur. Information is an asset like other assets in the organization, that is important to the organization and must be best protected for this reason. Information security; ensuring continuity of the work in the institution, reducing business interruptions, and protecting information from widespread threats to increase future benefits. Whatever form the information is in, it must be preserved in an appropriate manner. The availability of information security is only possible if the privacy of the information, its integrity and its availability are at a sufficient level. One of the*

*indispensable parts of the security systems that can be used for this purpose is intrusion detection systems.*

*In this paper, intrusion detection systems are examined which commonly used in information security systems. As a result of the investigation made, it is clear that intelligent-learning intrusion detection systems with potentiation of newly developed attack patterns should be developed. In addition, new systems are also needed where the false alarm level, which is a negative feature of intrusion detection systems, is low.*

*This study focuses on the next generation intrusion detection systems, especially from past to present and a comparison of these systems is also presented. The researches clearly demonstrate the importance of intrusion detection and prevention systems which one of the most important structures of computer network security. According to this importance, intrusion detection and prevention systems are constantly being updated and new types of attack detection software and hardware are being developed.*

*Information security is a process. Each element of this process is not enough for alone. Therefore, the intrusion detection and prevention systems which examined in the scope of this study will be an unnecessary opinion that it can provide security of an entire network or system. Intrusion detection and prevention systems used in conjunction with other network security systems will be useful as a complement to information security.*

**Keywords:** *Computer security, information security, intrusion detection system, intrusion prevention system*



## Segmentasyon yapmadan patolojik kalp sesi kayıtlarının tespiti için bir örüntü sınıflandırma algoritması

**Abdulnasır YILDIZ**

Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır  
[abnavil@dicle.edu.tr](mailto:abnavil@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0002-1432-8360, Tel: (412) 241 10 00

**Hasan ZAN\***

Mardin Artuklu Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Mardin  
[hasanzan@artuklu.edu.tr](mailto:hasanzan@artuklu.edu.tr) ORCID: 0000-0002-8156-016X

Geliş: 30.10.2018, Kabul Tarihi: 28.11.2018

### Öz

*Bu çalışmada, altı adet veri bankasından alınan kalp sesi kayıtlarına segmentasyon uygulamadan k-En Küçük Komşuluk (kNN), Destek Vektör Makinesi (DVM) ve sınıflandırıcı metotları topluluğu kullanarak sınıflandırmaya yarayan bir algoritma geliştirilmesi amaçlanmıştır. Altı aşamadan oluşan algoritmanın ilk aşaması olan Önışlem aşamasında sinyaller sivri uçlarından arındırılmış ve ardından normalize edilmiştir. İkinci aşama olan Özellik çıkarma-1 aşamasında, sinyalin çeşitli zaman ve frekans özellikleri çıkarılarak üçüncü aşamadaki veri bankası sınıflandırıcının eğitilmesinde ve test edilmesinde kullanılmıştır. Üçüncü aşama olan veri bankası sınıflandırması aşamasında, her veri bankası oluşturulurken kullanılan cihazların, kayıt yeri ve ortamının farklılığının negatif etkilerini azaltmak ve her veri bankası için farklı özellikler ile sınıflandırıcılar kullanmak amacıyla kalp sesi kayıtları veri bankalarına göre sınıflandırılmıştır. Dördüncü aşama olan Özellik Çıkarma-2 aşamasında veri bankalarına göre sınıflandırılan sinyallerin yine çeşitli zaman ve zaman-frekans özellikleri çıkarılmıştır. Beşinci aşamada her veri bankası için 3 farklı sınıflandırıcı (kNN, DVM ve sınıflandırıcı topluluğu) kullanılarak kayıtlar sınıflandırılmıştır. Algoritmanın son aşaması olan Oylama aşamasında, nihai sınıflandırma başarımını arttırmak amacıyla her kayıt için 3 farklı sınıflandırıcının çıkışları belli kurallara göre oylanarak kaydın sınıfı (patolojik veya normal) belirlenmiştir. Beşli çapraz doğrulama kullanılarak eğitilen ve test (tanı testi) edilen algoritmanın performansı ölçülürken doğruluk, duyarlılık, özgüllük, pozitif ve negatif yorum gücü ile ROC grafiğinin altında kalan alan gibi parametreler kullanılmıştır. En iyi performans sonuçları doğruluk: %94.28, duyarlılık: %87.97, özgüllük: %87.97, pozitif yorum gücü: %84.78, negatif yorum gücü: %96.86 ve ROC eğrisi altında kalan alan: 0.919 şeklinde elde edildi. Elde edilen bu değerler daha önceki çalışmalar ile kıyaslandığında algoritmanın oldukça başarılı olduğu ve kalbin patolojik durumuna ilişkin uzman hekime ön tanı imkânı sunabileceği söylenebilir.*

**Anahtar Kelimeler:** Kalp sesi; Fourier dönüşümü; DVM; kNN; Sınıflandırıcı metotları topluluğu; Sınıflandırma;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.476437

## Giriş

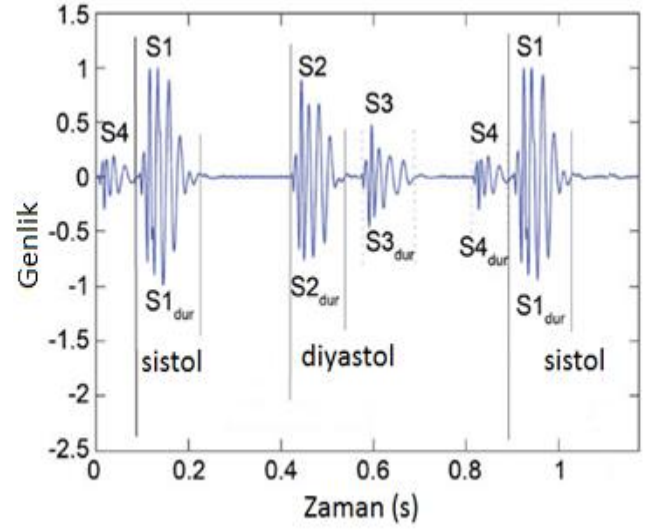
Kardiyovasküler bozukluklar veya kalp hastalıkları bir insanın kalp durumu hakkında bilgi veren genel bir terimdir. Kalp hastalıkları, dünyada artan ölümlerin ana kaynaklarından bir tanesidir. Her yıl Türkiye’de kalp hastalıkları yüzünden ölen insan sayısı diğer sebeplerden dolayı ölen insan sayısından daha fazladır. 2014 yılında ölen insan sayısının % 25.61’lik kısmı kalp hastalıklarından dolayı öldüğü tahmin edilmektedir (WHO, 2018)

Kalp hastalıklarını tespit etmek amacıyla EKG, bilgisayarlı tomografi, efor testi ve MR gibi gelişmiş yöntemlerin yanı sıra kalp sesinin stetoskop yardımıyla hekimler tarafından dinlenerek kalp sesindeki bozuklukların tespiti gibi basit yöntemler de kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda kalp sesi kayıtlarını kullanarak sinyal işleme teknikleri ve makine öğrenmesi yardımıyla kişilerin kalp hastalıklarına sahip olup olmadığını tespit eden otomatik örüntü tanıma sistemleri geliştirilmeye çalışılmaktadır (Maglogiannis, 2009).

Elektronik stetoskop ile kaydedilip dijital sinyale dönüştürülen kalp sesine fonokardiyogram (PCG) denir (Zhongwei ve Samjin, 2006). Bu sinyaller kompleks, durağan olmayan sinyallerdir ve vücudun mekanik aktiviteleri sonucu meydana gelmekle beraber kalp hastalıklarını tespit etmede önemli bilgiler içerir (Lekram ve Abhishek, 2014).

PCG kayıtları dört tane kalp sesi bileşeninden (S1, S2, S3 ve S4) meydana gelebilir. Temel kalp sesleri olarak da adlandırılan birinci ve ikinci kalp sesleri (S1 ve S2) herhangi bir hastalığa sahip olmayan her kalpten duyulabilir. Bu sesler kalpteki kapakçıkların kapanıp açılması sonucu oluşur. S1’in başlangıcı ile S2’nin başlangıcı arasında kalan bölge sistol (kalbin kasılması) olarak adlandırılır. S2’nin başlangıcı ve diğer döngüdeki S1’in başlangıcı arasında kalan bölge ise diyastol (kalbin genişlemesi) olarak adlandırılır. Hastalıklı bir kalbe ait PCG kayıtlarında üçüncü ve dördüncü (S3 ve S4) kalp sesleri de duyulabilir (Johnston,

2007). Şekil 1’de tüm kalp seslerine sahip örnek bir PCG kaydı verilmiştir.



Şekil 1. Tipik bir kalp sesi sinyali

Kalp atımı sırasında duyulan olağan dışı seslere üfürüm denir. Üfürümler en yaygın görülen kalp anormalliklerinden biridir. Üfürümler ile kalp sesleri arasındaki temel fark üfürümlerin gürültülü ve daha uzun olmasıdır. Sistol (kalbin kasılması) aralığında meydana gelen üfürümler, sistolik üfürüm; diyastol (kalbin genişlemesi) aralığında meydana gelen üfürümler diyastolik üfürüm olarak sınıflandırılır (Nigam ve Priemer, 2007).

Literatürde yer alan kalp hastalıklarını tespit etmede kullanılan otomatik örüntü tanıma sistemleri genellikle önışlem, segmentasyon, özellik çıkarma ve sınıflandırma olmak üzere dört temel aşamadan oluşmaktadır (Nabih vd., 2017). Yapılan pek çok çalışmanın önışlem aşamasında, sinyallere filtreleme, gürültüden arındırma ve normalizasyon gibi işlemler uygulanmıştır (Nabih vd., 2017). Kalp seslerinin alt kalp seslerine ayrılması işlemi olan segmentasyon aşamasında ise zarf, özellik, makine öğrenmesi ve saklı Markov modeli temelli metotlar kullanılmıştır (Liu vd., 2016). Özellik çıkarma aşamasında ise Fourier dönüşümü, dalgacık dönüşümü, mel frekansı keprum katsayıları, S dönüşümü, ayrık kosinüs dönüşümü, Choi-Williams dağılımı ve Shannon enerji gibi yöntemler kullanılmıştır (Nabih vd.,

2017). Algoritmanın son aşaması olan sınıflandırma aşamasında ise Yapay sinir ağları (YSA), DVM, kNN, sınıflandırıcı metotları topluluğu ve derin öğrenme gibi pek çok yöntem sınıflandırıcı olarak kullanılmıştır (Nabih vd., 2017).

Son 50 yıldır kalp sesi işaretlerinden kişinin kalp hastası olup olmadığının tespitine yönelik geliştirilen otomatik teşhis algoritmalarının başarımı genelde belirli bir lokasyondan alınan, gürültüsüz ve az sayıda kalp sesi kaydı içeren veri setleri üzerinden test edilmiştir. Bu da farklı lokasyonlardan alınan, gürültülü ve çok fazla sayıda kayıt içeren bir veri seti üzerinden başarımı test edilmiş yüksek performanslı algoritmaların geliştirilmesi gerektiğini gösterir.

Bu çalışmada, PCG kayıtlarından kişinin kalp hastası olup olmadığını tespit eden zaman, zaman-frekans tabanlı işaret işleme ve makine öğrenmesi algoritmalarına dayalı bir örüntü sınıflandırma sistemi geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, farklı veri bankalarından alınan PCG kayıtlarındaki farklılıkların olumsuz etkisini azaltmak amacıyla kayıtlar veri bankasına göre ön sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Veriler veri bankalarına göre

sınıflandırıldıktan sonra segmentasyon işlemine tabi tutulmadan DVM, kNN ve sınıflandırıcı metotları topluluğu kullanılarak sınıflandırılmıştır. Geliştirilen sistemin başarımlı performansı altı adet veri bankasından elde edilen, farklı lokasyonlu ve gürültülü kayıtların da içerisinde yer aldığı ve toplamda 3240 kalp sesi kaydından oluşan bir veri seti üzerinden test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları daha önce yapılmış olan benzer çalışmalar ile kıyaslanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### Kullanılan Kalp Sesi Kayıtları

Yapılan önceki çalışmaların çoğundaki en büyük eksiklik kullanılan verilerin kısıtlı sayıda ve gürültüsüz olmasıydı. Bu amaçla pek çok kurum tarafından desteklenen physionet.org, geniş bir veri bankası oluşturmak ve dünyadaki araştırmacıları normal ve anormal PCG kayıtlarının sınıflandırılması konusunda çalışma yapmaları için teşvik etmek amacıyla 2016 yılında bir yarışma düzenledi. Yarışma kapsamında oluşturulan veri bankasının eğitim seti “[physionet.org/challenge/2016](http://physionet.org/challenge/2016)” adresinden indirilebilir. Tablo 1’de veri bankaları ile ilgili detaylar yer almaktadır.

Tablo 1. Kullanılan verilere ilişkin detaylar

Veri Bankası	Denek Tipi	Denek Sayısı	Yaş	Kayıt Sayısı	Kayıt Uzunluğu (Saniye)	Örnekleme Frekansı
<b>MITHSDB</b>	Normal	38	Bilinmiyor	117	33±5	44100 Hz
<b>(a)</b>	Anormal	83	Bilinmiyor	292	33±5	44100 Hz
<b>AADHSDB</b>	Normal	121	Bilinmiyor	544	8	4000 Hz
<b>(b)</b>	Anormal	30	Bilinmiyor	151	8	4000 Hz
<b>AUTHHSDB</b>	Normal	11	29±8	11	47±25	4000 Hz
<b>(c)</b>	Anormal	34	77±9	34	56±34	4000 Hz
<b>TUTHSDB</b>	Normal	28	Bilinmiyor	174	15	4000 Hz
<b>(g)</b>	Anormal	16	Bilinmiyor		15	4000 Hz
<b>UHAHSDB</b>	Normal	19	18-40	19	14±5	8000 Hz
<b>(d)</b>	Anormal	36	44-90	60	16±9	8000 Hz
<b>DLUTHSDB</b>	Normal	174	25±3	338	209±78	800–22050 Hz
<b>(e)</b>	Anormal	335	60±12	335	17±12	8000 Hz
<b>SUAHSDB</b>	Normal	79	56±16	81	33±5	8000 Hz
<b>(f)</b>	Anormal	33	56±16	33	33±5	8000 Hz
<b>SSHHSDB</b>	Normal	12	Bilinmiyor	12	36±12	8000 Hz
<b>(i)</b>	Anormal	23	Bilinmiyor	23	36±12	8000 Hz
<b>Toplam</b>	—	1072	—	2224	—	—

Yarışma kapsamında Tablo 1’de verilen veri bankaları 2 kHz örnekleme frekansı ile yeniden örneklendirilerek bir araya getirilmiş ve veriler eğitim ve test veri seti olarak ayrılmıştır. Sadece eğitim veri seti indirilebildiğinden bu çalışmada a, b, c, d, e ve f olarak etiketlenen veri bankalarının eğitim veri seti olarak adlandırılan PCG kayıtları kullanılmıştır. Bu veri seti altı adet farklı veri bankasının birleşiminden oluşmaktadır. Veri seti 2575’ü normal ve 665’si anormal olmak üzere toplamda 3240 adet PCG kaydı içermektedir. Mevcut çalışmamızda bu veri seti çalışma veri seti olarak adlandırılmıştır. Çalışmamızda geliştirilen algoritmanın performans değerlendirilmesinde 5-katlı çaprazlama doğrulama (5-fold cross validation) yöntemi kullanılmıştır. Bunun için çalışma veri setinden beş adet kopya oluşturulmuş, her kopya beş parçaya bölünmüştür. Oluşturulan beş parçanın dördü eğitim, bir ise test (tanı testi) için kullanılmıştır. Son olarak beş tanı testi sonuçlarının ortalaması alınarak algoritmanın performansı hesaplanmıştır. Çapraz doğrulamanın her adımında kullanılan kayıtlara ilişkin detaylar Tablo 2’te verilmiştir.

Tablo 2. Çapraz doğrulama için eğitim veri seti ve test veri seti

Veri Seti	Alt Veri Seti	Normal	Anormal
Eğitim	a	94	234
	b	309	84
	c	6	19
	d	22	22
	e	1566	146
	f	64	27
	Toplam	2061	532
Test	a	23	58
	b	77	20
	c	1	5
	d	5	6
	e	392	37
	f	16	7
	Toplam	514	133

### Algoritmanın Yapısı

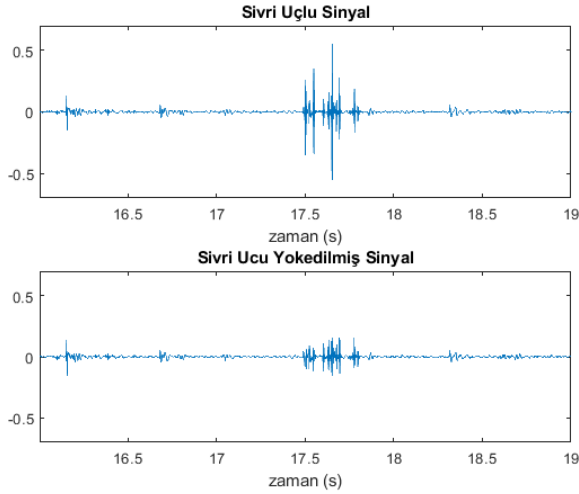
Matlab R2017b programında yazılmış olan algoritma Önişlem, Özellik Çıkarma-1, Veri Bankası Sınıflandırması, Özellik Çıkarma-2, Nihai Sınıflandırma ve Oylama olmak üzere altı aşamadan oluşmaktadır. Algoritmanın blok diyagramı Şekil 2’de verilmiştir.

### Önişlem

Bu aşamada gürültüden kaynaklı sivri uçları PCG kayıtlarından ayıklamak için Schmidt ve diğerleri (2010) tarafından geliştirilen bir yöntem kullanılmıştır. Dört adımdan oluşan bu yöntemin işlem adımları sırasıyla aşağıda verilmiştir;

- 1) Sinyal 500 ms’lik bölütlere ayrılır.
- 2) Her bölütteki maksimum mutlak genlik (MMG) bulunur.
- 3) Eğer en az bir tane MMG, tüm MMG’lerin ortanca değerinin üç katını geçerse a’dan e’ye kadar olan işlemler uygulanır, yoksa dördüncü adıma geçilir.
  - a) En yüksek MMG değerine sahip bölüt seçilir.
  - b) Seçilen bölütte sivri ucun tepe noktası MMG’nin konumu olarak tanımlanır.
  - c) Sivri ucun başlangıç noktası, MMG’den önce sinyalin en son sıfırdan geçtiği nokta olarak tanımlanır.
  - d) Sivri ucun son bulunduğu nokta MMG’den sonra sinyalin ilk defa sıfırdan geçtiği nokta olarak tanımlanır.
  - e) Tanımlanan sivri uç sıfırlar ile değiştirilir.
- 4) İşlem tamamlanır.

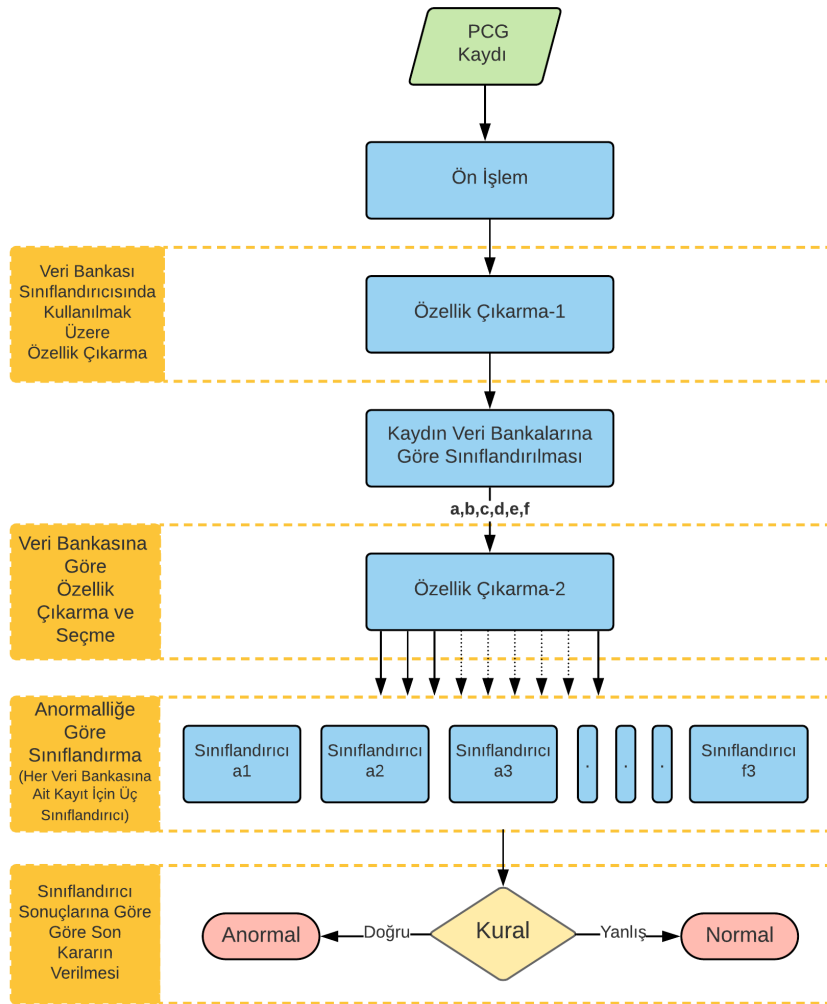
Belirtilen yöntemin örnek bir PCG kaydına uygulanması Şekil 3’de gösterilmiştir. Önişlem aşamasında gerçekleştirilen bir diğer işlem normalizasyon işlemidir. Normalizasyon deneğe ait özelliklerin kayıtlardan arındırılması için başvurulan bir işlemdir. Bu işlem için çalışmada minmaks normalizasyon yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3. Sivri uçlu ve sivri ucu yok edilmiş iki PCG kaydı

### Özellik Çıkarma-1

Bu aşamada, sinyalin zaman uzayına ve Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) kullanılarak elde edilen frekans uzayına (0–200 Hz ile 800–1000 Hz frekans aralıkları) ait istatistiksel özellikleri çıkarılmıştır (minimum, maksimum, ortalama, medyan, basıklık, çarpıklık, etkin değer ve etkin değer maksimum değere oranı olmak üzere  $8 \times 4 = 24$  adet özellik).



Şekil 2. Önerilen algoritmanın blok diyagramı

### Veri Bankası Sınıflandırması

Bu aşamanın amacı altı adet veri bankasından alınan kalp sesi kayıtlarının altı sınıfa ayrılmasıdır. Böylece sonraki adımlarda her veri bankasına ait kayıtlar için farklı özellik

seçilebilmesi ve nihai sınıflandırma aşamasında her veri bankası için ayrı sınıflandırıcı kullanılması mümkündür.

Detaylı açıklaması aşağıda verilmiş olan sınıflandırıcı metotları topluluğu veri bankası sınıflandırıcısı olarak kullanılmıştır. Bu sınıflandırıcı beşli çapraz doğrulamanın her adımında her biri 24 adet özelliğe sahip 2590 adet PCG kaydı ile eğitilmiştir. Sınıflandırıcıya ait parametreler deneme yanılma yolu ile bulunmuştur. Bu aşamada kullanılan sınıflandırıcı verileri altı sınıfa %98.14'lük bir doğruluk ile sınıflandırmıştır.

Tablo 3. Veri bankası sınıflandırıcısına ait detaylar

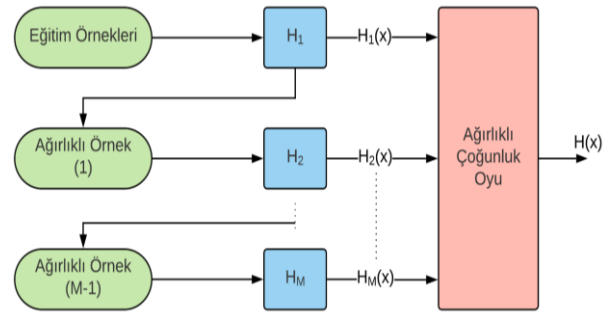
<b>Sınıflandırıcı Türü</b>	Sınıflandırıcı Metotları Topluluğu
<b>Algoritma</b>	AdaBoostM2
<b>Zayıf Sınıflandırıcı Türü</b>	Karar Ağacı
<b>Sınıflandırıcı Sayısı</b>	487
<b>Öğrenme Oranı</b>	0,4591

#### a) Sınıflandırıcı Metotları Topluluğu

Pek çok araştırmacı çok sayıda sınıflandırıcının tahminlerini birleştirerek tek bir sınıflandırıcı oluşturma tekniğini incelemiştir. Elde edilen sınıflandırıcı, yani topluluk, genellikle bu topluluğu oluşturan her bir sınıflandırıcıdan daha yüksek bir doğruluğa sahip olur. Bu yöntemin temel prensibi bir grup zayıf sınıflandırıcıyı çeşitli algoritmalar kullanarak bir araya getirip güçlü bir sınıflandırıcı oluşturmaktır. Sınıflandırıcı topluluğu oluşturulurken en çok kullanılan

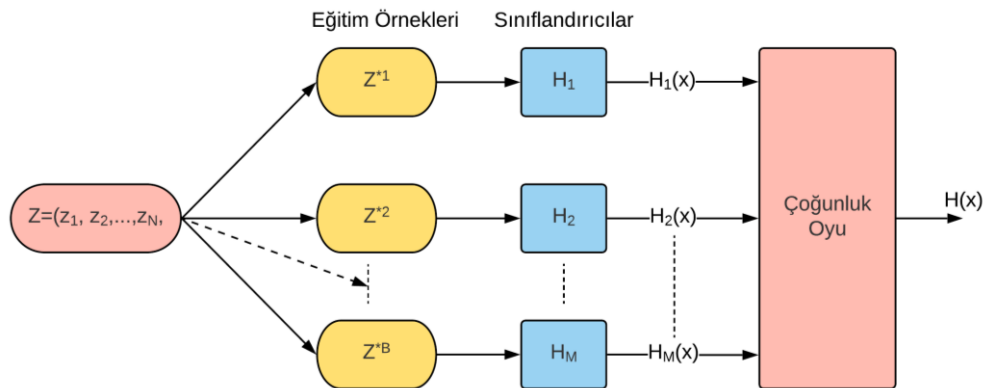
algoritmalar Adaboost ailesi algoritmaları (arttırma, boosting) ve bagging (özyükleme bütünleştirilmesi, bootstrap aggregation) algoritmasıdır. Bu algoritmalar ile beraber en çok kullanılan zayıf sınıflandırıcı ise karar ağacıdır (Zhukov vd., 2017).

Boosting ile yeniden ağırlıklandırılmış eğitim verilerine sınıflandırma algoritmalarından bir tanesi sıra ile uygulanır ve elde edilen sonuçlar ağırlıkları ile beraber oylanarak tek bir sınıflandırma sonucu elde edilir.



Şekil 4. Boosting algoritmalarının genel yapısı

Bootstrap, genel amaçlı ve örnek temelli bir istatistiksel yöntemdir. Bu yöntemde, temel bir veri setinden rastgele, her seferinde eşit sayıda ve tekrar yerine koymak suretiyle veri alınarak ayrık eğitim verileri oluşturulur. Bagging, bootstrap örnekleme kullanılarak sınıflandırıcıların doğruluğunu arttırmak için kullanılan bir tekniktir. Mevcut çalışmada PCG kayıtlarının hangi veri bankasına ait olduğunu belirlemek için kullanılan sınıflandırıcı metotlar topluluğun ilişkin detaylar Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 5. Bagging algoritmasının genel yapısı



## Özellik Çıkarma-2

Bu aşamada PCG kayıtlarının “Db4” dalgacı ile elde edilen 3. ve 4. seviye detay ile yaklaşım katsayılarının, mel frekansı kepsturm katsayılarının, sinyalin zaman ve frekans uzayının aşağıda belirtilen özellikleri çıkarılmıştır.

Bütün veri bankaları için aynı sayıda olmak üzere her veri bankası için toplamda 169 adet

özellik çıkarılmıştır. Çıkarılan özellik sayısını azaltmak için açıklaması aşağıda verilen ardışık ileri yönde özellik seçme algoritması kullanılarak sınıflandırma performansına olumsuz etkisi olan ve sınıflandırma performansına hiçbir etkisi olmayan gereksiz özellikler elemine edilmiştir. Özellik seçme sonrası veri bankaları için seçilen özellik sayısı Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 4. Çıkarılan özellikler

Özellik	Zaman Uzayı	Hızlı Fourier Dönüşümü	Ayrık dalgacık dönüşümü: 3. ve 4. Seviye Yaklaşım ve Detay Katsayıları (Db4 dalgacı)	Mel Frekansı Kepstrum Katsayıları (13 katsayı+1 filtre enerjisi)
Etkin değer	✓	✓	✓	✓
Sıfırdan geçme oranı	✓	✓	✓	X
Basıklık	✓	✓	✓	✓
Çarpıklık	✓	✓	✓	✓
Ortalama	✓	✓	✓	✓
Standart Sapma	✓	✓	✓	✓
Varyans	✓	✓	✓	✓
Entropi	✓	✓	✓	✓
Maksimum	✓	✓	✓	✓
Medyan	✓	✓	X	X
Toplam harmonik bozulma	X	✓	X	X

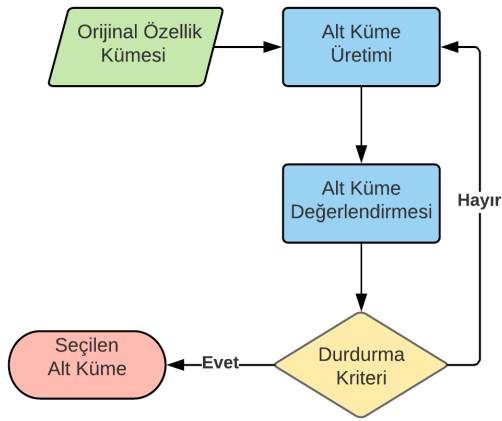
Tablo 5’ten de görülebileceği gibi veri bankası b ve c için seçilen özellik sayısı ilk başta çıkarılan özellik sayısı ile aynıdır. Çünkü özellik seçmeden sonra Veri bankası-b için performans düşmüştür. Veri bankası-c için ise özellik seçmeden önce bile tam performans elde edildiğinden özellik seçmeye gerek kalmamıştır.

Tablo 5. Özellik seçme sonrası özellik sayıları

Veri Bankası	Özellik Sayısı
a	9
b	169
c	169
d	4
e	6
f	7

### a) İleri Yönde Özellik Seçme Algoritması

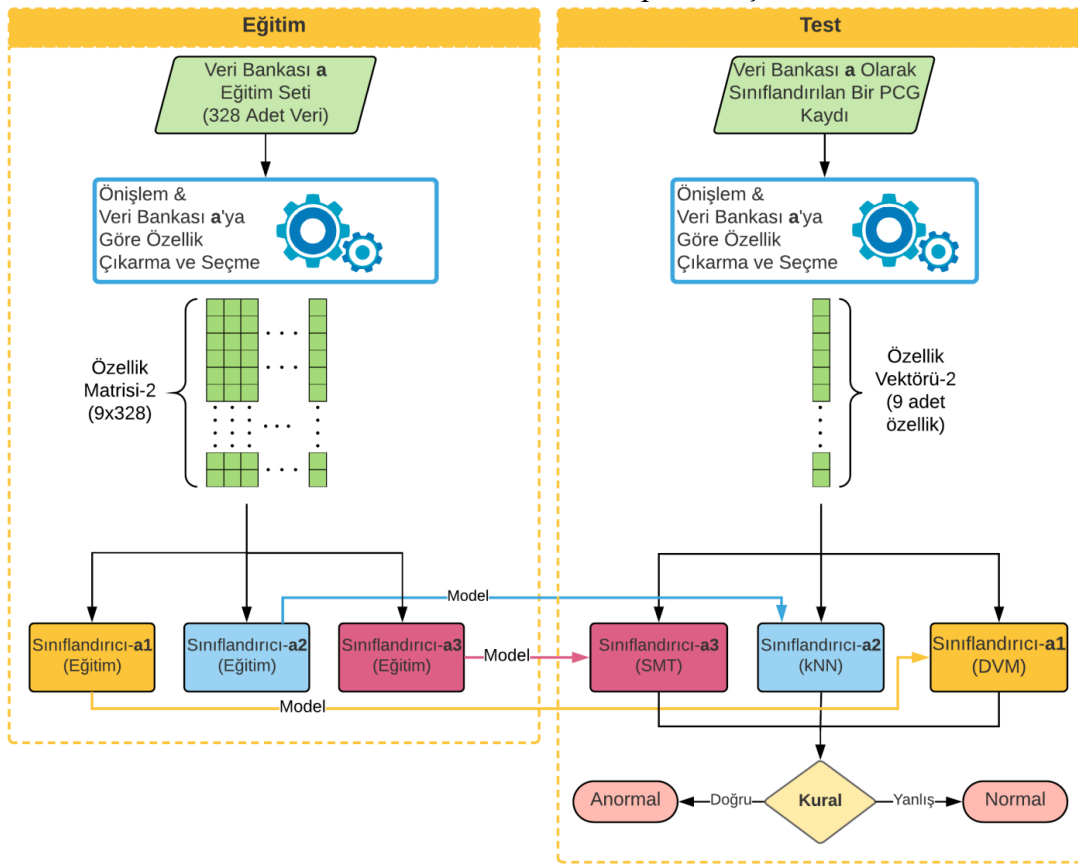
Özellik seçmenin amacı, çıkarılan özellik kümesinden daha az sınıflandırma hatası elde edilebilecek bir alt küme seçilmesidir. İleri yönde özellik seçme algoritması boş bir alt küme ile başlar. Sonra alt kümeye yeni bir özellik eklenir ve aday alt küme oluşturulur. Aday alt küme, değerlendirme kriterine göre değerlendirilir. Değerlendirme sonucu özellik eklenmeden önceki değerlendirme sonucundan daha iyi ise özellik tutulur, değil ise çıkarılır. Daha sonra alt kümeye özellik kümesinden yeni bir özellik eklenerek aynı işlemler tekrarlanır. Durma kriterine ulaşıncaya veya özellik kümesinde özellik kalmayana kadar aynı işlemler tekrarlanır (Jain ve Zongker, 1997). Algoritmanın blok diyagramı Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. İleri yönde özellik seçme algoritması

### Nihai Sınıflandırma

Algoritmanın bu adımında, patolojik kalp sesi kayıtlarını tespit etmek amacıyla her veri bankası için özel olarak eğitilen DVM, kNN ve sınıflandırıcı metotları topluluğu (SMT) olmak üzere veri bankası başına üç adet, toplamda ise 18 adet sınıflandırıcı kullanılmıştır. Sınıflandırıcılara ilişkin deneme yanılma yoluyla bulunan parametreler Tablo 6’da verilmiştir. Veri bankası-a için sınıflandırıcıların eğitilmesi ve test edilmesine ilişkin blok diyagramı Şekil 7’de verilmiştir. Bütün veri bankaları için aynı işlem adımları takip edilmiştir.



Şekil 7. Sınıflandırıcıların eğitilmesi ve test edilmesi

Tablo 6. Sınıflandırıcılara ilişkin detaylar

Parametre	Veri Bankası					
	a	b	c	d	e	f
Çekirdek Fonksiyonu	gaussian	gaussian	polynomial	polynomial	polynomial	gaussian
Çekirdek Ölçeği	999.520	85.645	–	–	–	244.311
Polinom Derecesi	–	–	3	2	2	–
Kutu Sınırı	7.548	976.000	4.735	541.412	0.065	946.500

Parametre	Veri Bankası					
	a	b	c	d	e	f
Komşu Sayısı	38	1	8	11	1	25
Uzaklık	minkowski	kapsamlı	minkowski	seuclidean	mahalonobis	chebychev
Uzaklık Ağırlığı	Karesel-ters	Öklit-ters	eşit	eşit	ters	eşit
Üs	0.645	-	2	-	-	-
Metot	bag	bag	bag	gentleboost	gentleboost	logitboost
Sınıflandırıcı	ağaç	ağaç	ağaç	ağaç	ağaç	ağaç
Sınıflandırıcı Sayısı	496	45	265	10	338	337
Öğrenme Oranı	1	1	1	0.991	0.002	0.001

### a) kNN

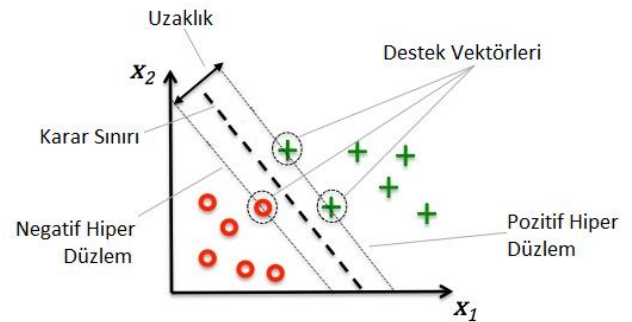
kNN metodu kümeleme ve sınıflandırma uygulamalarda geniş bir şekilde kullanılan basit bir makine öğrenmesi tekniğidir. Bu yöntemde, sınıfları bilinen eğitim veri seti kullanılarak test veri seti aynı sınıflara girecek şekilde sınıflandırılır. Bunun için eğitim veri setinin her bir noktasına en yakın k adet test eğitim seti noktası belirlenir. Daha sonra çoğunluk oyuna göre test veri setinin sınıfları belirlenir (Lubaib ve Ahammed, 2015). kNN algoritmasının işlem adımları şu şekildedir:

- 1) Verileri yükle.
- 2) k, yani komşu sayısını belirle.
- 3) Tahmin edilen sınıfları elde etmek için birden eğitim setindeki örnek sayısına kadar iterasyon yap.
  - a) Test verileri ile eğitim verisinin her bir sütunu arasındaki uzaklığı uzaklık fonksiyonu ile hesapla.
  - b) Hesaplanan uzaklıkları küçükten büyüğe doğru sırala.
  - c) Sıralanmış diziden k adet sütun al.
  - d) Bu sütunlarda en sık karşılaşılan sınıfları al.
  - e) Tahmin edilen sınıfları elde et.

### b) DVM

DMM ikili sınıflandırma için kullanılan makine öğrenmesi tekniğidir. DVM'nin temelleri Vapnik (1995) tarafından atılmıştır. DVM'nin temeli pozitif ve negatif örnekler

arasındaki ayrımı en iyi şekilde yapan bir hiper düzlemin bulunmasıdır. Hiper düzlem bulunurken düzlemin her iki sınıfa olan uzaklık maksimize edilmeye çalışılır. Eğer örnekler lineer olarak ayrılmıyorsa örneklere çeşitli çekirdek dönüşümleri uygulanarak boyut sayısı artırılarak hiper düzlem bulunur. Bu hiper düzleme en yakın olan noktalara yani sınıflandırılması en zor olan noktalara destek vektörleri denir. Eğitim verileri kullanılarak hiper düzlem bulunduktan sonra test verileri bu düzlem kullanılarak sınıflandırılır (Lubaib ve Ahammed, 2015). İki boyutlu eğitim veri seti için bulunan hiper düzlemin geometrik gösterimi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Hiper düzlemin geometrik gösterimi

### Oylama

Algoritmanın son aşamasında Tablo 7'de belirlenen kural çerçevesinde sınıflandırma sonuçları üzerinden oylama yapılmıştır.

Tablo 7. Oylama aşamasında Kullanılan kurallar (VB: Veri Bankası)

<b>Kural-1</b>	Eğer DVM sonucu anormal ise kayıt anormaldir
<b>Kural-2</b>	Eğer kNN sonucu anormal ise kayıt anormaldir
<b>Kural-3</b>	Eğer SMT sonucu anormal ise kayıt anormaldir
<b>Kural-4</b>	Eğer DVM ve kNN sonucu anormal ise kayıt anormaldir
<b>Kural-5</b>	Eğer DVM veya SMT sonucu anormal ise kayıt anormaldir
<b>Kural-6</b>	Eğer kNN veya SMT sonucu anormal ise kayıt anormaldir
<b>Kural-7</b>	Eğer DVM, kNN veya SMT sonucu anormal ise kayıt anormaldir
<b>Kural-8</b>	VB-a için Kural-7 VB-b için Kural-6 VB-c için Kural-1 VB-d için Kural-7 VB-e için Kural-2 VB-f için Kural-3

### Başarı Ölçütü

Biyomedikal çalışmalarda tanı testi deneklerde hastalık olup olmadığını tespit etmede kullanılır. Tanı testi, test sonuçlarının denegin gerçek durumu ile karşılaştırılarak yapılır. Tanı testi yapıldıktan sonra doğruluk, duyarlılık, özgüllük, pozitif ve negatif yorum gücü ile ROC eğrisinin altında kalan alan gibi parametreler hesaplanarak performans değerlendirilmesi yapılır (Wong ve Lim, 2011). Bir tanı testine ilişkin bütün olası sonuçlar Tablo 8’de verilmiştir. Testin tüm denekleri doğru tespit etme başarısını ifade eden doğruluk Denklem 1’de, sağlıklı bireyleri tespit etme başarısını ifade eden özgüllük Denklem 2’de ve sağlıklı bireyleri doğru tespit etme başarısını ifade eden duyarlılık ise Denklem 3’te verilmiştir.

Tablo 8. Bir tanı testinin tüm olası sonuçları

Tanı testi Sonuçları	Gerçek Durum	
	Anormal (Hastalıklı, Pozitif)	Normal (Sağlıklı, Negatif)
<b>Anormal (Hastalıklı, Pozitif)</b>	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Pozitif (YP)
<b>Normal (Sağlıklı, Negatif)</b>	Yanlış Negatif (YN)	Doğru Negatif (DN)

$$\text{doğruluk} = \frac{DP + DN}{DP + YP + DN + YN} \quad (1)$$

$$\text{özgüllük} = \frac{DN}{YP + DN} \quad (2)$$

$$\text{duyarlılık} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (3)$$

DN: Doğru negatif, YN: Yanlış negatif,  
DP: Doğru pozitif, YP: Yanlış pozitif

Tanı testi sonucu sağlıklı olarak teşhis edilmiş bir denegin gerçekte de sağlıklı olma olasılığı şeklinde tanımlanan negatif yorum gücü (NPV) Denklem 4’de ve test sonucu sağlıklı olarak teşhis edilen bir denegin gerçekte de sağlıklı olma olasılığı şeklinde tanımlanan pozitif yorum gücü (PPV) Denklem 5’te verilmiştir.

$$NPV = \frac{DN}{DN + YN} \quad (4)$$

$$PPV = \frac{DP}{DP + YP} \quad (5)$$

NPV: Negatif yorum gücü, PPV: Pozitif yorum gücü

ROC analizi, klinik çalışmalarda tanı testinin sağlıklı (negatif) ve hastalıklı (pozitif) iki durumu ne kadar doğru bir şekilde ayırdığını ölçmede kullanılır. Analiz genellikle ROC eğrisi kullanılarak yapılır. ROC eğrisi, doğru pozitif oranının yanlış pozitif oranına göre

değişiminin çizilmesiyle elde edilir. Eğrinin altında kalan alanın fazlalığı tanı testinin başarısını gösterir. ROC eğrisi altında kalan 0.9-1 arasında ise tanı testinin performansı “Mükemmel”, 0.8-0.9 arasında ise “Çok iyi”, 0.7-0.8 arasında ise “İyi”, 0.6-0.7 arasında ise yeterli, 0.5-0.6 arasında ise “Kötü” ve 0.5’ten küçük ise “Kullanışsız” olarak nitelendirilir.

Yapılan yarışmada doğruluk yerine skor olarak adlandırılan ve duyarlılık ile özgüllüğün aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Sağlıklı bir karşılaştırma

yapılabilmesi açısından bu çalışmada da skor değeri hesaplanmıştır (Liu vd., 2016).

### Uygulama ve Başarımlar

Bu çalışmada Physionet.org tarafından 2016’da yapılan yarışmada kullanılan PCG kayıtları kullanılmıştır. Üç farklı sınıflandırıcı kullanılarak patolojik kayıtların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Önerilen algoritmanın eğitilmesinde beş katlı çapraz doğrulama kullanılarak tüm verilerin hem eğitim hem de test için kullanılması sağlanmıştır. Elde edilen ortalama performans değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Tanı testinin farklı kurallar kullanılarak elde edilen performans sonuçları

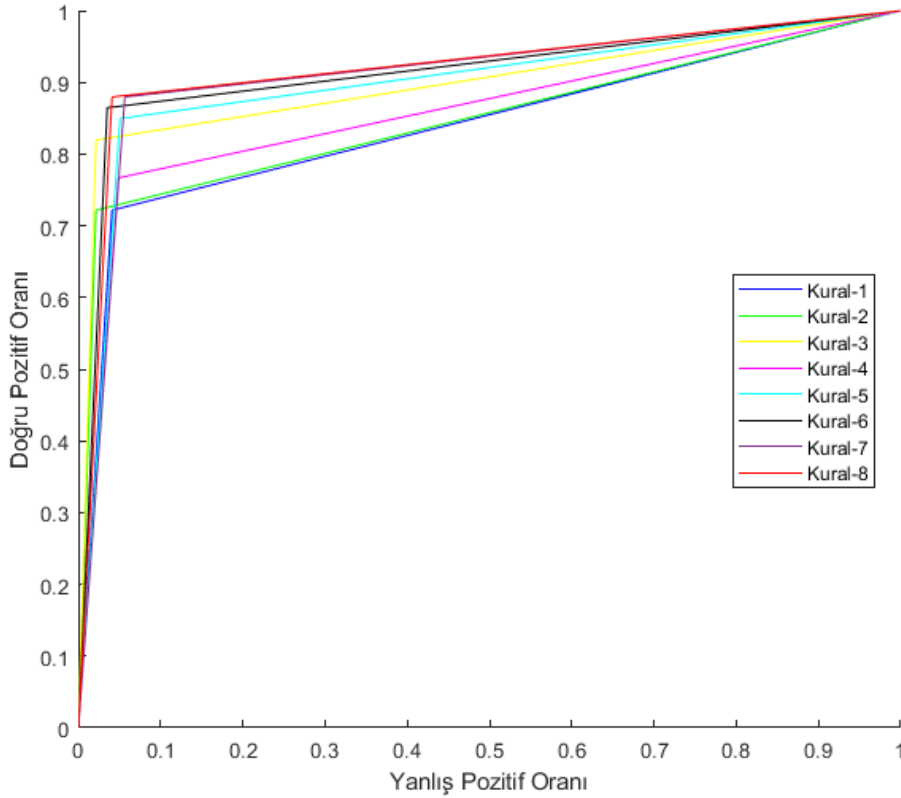
Kural	Doğruluk (%)	Özgüllük (%)	Duyarlılık (%)	PPV (%)	NPV (%)	ROC (%)	Skor (%)
Kural-1	91.04	95.91	71.18	82.05	93.01	84.05	84.05
Kural-2	92.58	<b>97.86</b>	72.18	89.72	93.15	85.02	85.02
Kural-3	<b>94.59</b>	97.86	81.95	<b>90.83</b>	95.44	89.91	89.91
Kural-4	91.34	95.14	76.69	80.31	94.04	85.91	85.91
Kural-5	92.89	94.94	84.96	81.29	96.06	89.95	89.95
Kural-6	94.43	96.50	86.47	86.47	96.50	91.48	91.48
Kural-7	93.04	94.36	<b>87.97</b>	80.14	96.81	91.16	91.16
Kural-8	94.28	95.91	<b>87.97</b>	84.78	<b>96.87</b>	<b>91.94</b>	<b>91.94</b>

İlk üç kurala ait performans sonuçları sırasıyla destek vektör makineleri, k en yakın komşular ve sınıflandırıcı metotları toplulukları tek başına kullanıldığında elde edilen sonuçlara denk gelmektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde hem doğruluk hem de skor anlamında en başarılı sonuçları sınıflandırıcı metotları topluluğu vermiştir. Ayrıca, bu sınıflandırıcı tüm tanı testleri içinde en yüksek doğruluk ve en yüksek pozitif yorum gücü elde edilmesini sağlamıştır. kNN sağlıklı denekleri en iyi teşhis ederken, sağlıklı denekler ise üç

sınıflandırıcı bir arada kullanıldığında en iyi teşhis edilmiştir. Yarışma skoru, ROC eğrisi altında kalan alan ile negatif ve pozitif yorum gücü açısından bakıldığında ise kural-8 en iyi sonuçların elde edilmesini sağlamıştır. Bu durum her veri bankası için farklı özellik ve sınıflandırıcı seçiminin performans artırıcı etkisini gözler önüne sermektedir. ROC eğrisi altında kalan alan incelendiğinde bütün kurallar mükemmel veya çok iyi bir performans sergilediği görülmektedir. Sekiz kurala ilişkin ROC eğrisi Şekil 9’da verilmiştir. Verilen ROC eğrileri, sadece

algoritmanın farklı durumlarda performansını karşılaştırılma amacıyla kullanıldığından her bir kural için çizdirilen ROC eğrileri

algoritmanın o kural için en iyi sonucu verdiği parametreler üzerinden çizdirilmiştir.



Şekil 9. Sekiz kurala ilişkin ROC eğrisi

Elde edilen en iyi sonuçlar, yarışmada dereceye giren çalışmalar ile yarışma sonrası yapılan çalışmaların sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Farklı çalışmaların performans sonuçları

Çalışma	Duy	Özg	Doğ
Potes vd. (2016)	88.0	82.0	85.0
Zabihi vd. (2016)	94.2	88.8	91.5
Kay ve Agarwal (2017)	84.8	83.3	84.1
Whitaker vd. (2017)	88.8	88.2	88.4
Beritelli vd. (2018)	93.0	91.0	92.0
Langley ve Murray (2017)	94.0	65.0	79.5
Homsı ve Warrick (2017)	95.9	90.5	93.2
Önerilen algoritma	88.0	95.9	91.9

Tablo 10'da da görülebileceği üzere önerilen algoritma yarışmada dereceye giren çalışmalardan daha yüksek performans göstermiştir. Ayrıca, önerilen algoritma yarışma sonrasında aynı veriler ile yapılan çalışmalar ile kıyaslandığında bu çalışmalara oldukça benzer sonuçlar elde etmiştir.

## Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, Physionet.org tarafından 2016'da yapılan yarışmaya kalp sesi kayıtları kullanılmıştır. Çalışmanın amacı patolojik kalp sesi kayıtlarının segmantasyon yapılmadan, yani alt kalp seslerine ayrılmadan tespit edilmesidir. Bunun için altı adet veri bankasından alınan, farklı cihazlar ve vücudun farklı yerleri kullanılarak kaydedilen toplam 3240 adet PCG kaydı önışlem, özellik çıkarma-1, veri bankası sınıflandırması, özellik çıkarma-2, nihai sınıflandırma ve oylama aşamalarından

geçirilerek DVM, kNN ve SMT kullanılarak sınıflandırılmıştır.

Algoritmanın eğitilmesinde ve test edilmesinde beşli çapraz doğrulama kullanılarak tüm verilerin hem eğitim aşamasında hem de test aşamasında kullanılması sağlanmıştır. Algoritmanın tanı testi performans sonuçları Tablo 9'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda algoritmanın oldukça başarılı sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Bu yüzden, algoritmanın hekimlere ikinci bir görüş sağlamak amacıyla kullanılacağı düşünülmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (DÜBAP) Koordinatörlüğü tarafından 17.019 proje numarası ile desteklenmiştir.

## Kaynaklar

Beritelli, F., Capizzi, G., Sciuto, G. L., Napoli, C. ve Scaglione, F., (2018). Automatic heart activity diagnosis based on Gram polynomials and probabilistic neural networks. *Biomedical Engineering Letters*, **8**, 1, 77–85.

Homsı, M. N. ve Warrick, P., (2017). Ensemble methods with outliers for phonocardiogram classification. *Physiological Measurement*, **38**, 8, 1631–1644.

Jain, A. ve Zongker, D., (1997). Feature selection: evaluation, application, and small sample performance. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **19**, 2, 153–158.

Johnston, M., (2007). The third heart sound for diagnosis of acute heart failure. *Current Heart Failure Reports*, **4**, 3, 164–169.

Kay, E. ve Agarwal, A., (2017). DropConnected neural networks trained on time–frequency and inter–beat features for classifying heart sounds. *Physiological Measurement*, **38**, 8, 1645–1657.

Langley, P. ve Murray, A., (2017). Heart sound classification from unsegmented phonocardiograms. *Physiological Measurement*, **38**, 8, 1658–1670.

Lekram, B. ve Abhishek, M., (2014). Heart sound segmentation techniques: a survey. *IOSR Journal of Electrical and Electronics*

*Engineering (IOSR-JEEE)*, **4**, Electronics Eng., 46–49.

Liu, C., (2016). An open access database for the evaluation of heart sound algorithms. *Physiological Measurement*, **37**, 12, 2181–2213.

Lubaib, P. ve Ahammed, V. D., (2015). The heart defect analysis based on PCG signals using pattern recognition techniques. *Procedia Technology*, **24**, 2016, 1024 – 1031.

Maglogiannis, I., Loukis, E., Zafiropoulos, E. ve Stasis, A., (2009). Support Vectors Machine-based identification of heart valve diseases using heart sounds. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, **95**, 1, 47–61.

Nabih–Ali, M., El-Sayed, A., Yahiba, A. 2017. A review of intelligent systems for heart sound. *Journal of Medical Engineering & Technology*, **41**, 7, 553–563.

Nigam, V. ve Priemer, R., (2007). A simplicity–based fuzzy clustering approach for detection and extraction of murmurs from the phonocardiogram. *Physiological Measurement*, **41**, 7, 29–33.

Potes, C., Parvaneh, S., Rahman, A. ve Conroy, B., (2016). Ensemble of feature–based and deep learning–based classifiers for detection of abnormal heart sounds. 2016 Computing in Cardiology Conference (CinC), 621–624, Vancouver.

Schmidt, S. E., Holst–Hansen, C., Graff, C., Toft, E. ve Struijk, J. J., (2010). Segmentation of heart sound recordings by a duration–dependent. *Physiological Measurement*, **3**, 4, 513–542.

Whitaker, B. M., Suresha, P. B., Liu, C., Clifford, G. D., Anderson, D. V. 2017. Combining sparse coding and time–domain features for heart sound classification. *Physiological Measurement*, **38**, 8, 1701–1713.

Wong, H. B. ve Lim, G. H. 2011. Measures of diagnostic accuracy: sensitivity, specificity, PPV and NPV. *International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, **19**, 4, 316–318.

World Health Organization. The Impact of Chronic Disease In Turkey. [http://www.who.int/chp/chronic\\_disease\\_report/turkey.pdf?ua=1](http://www.who.int/chp/chronic_disease_report/turkey.pdf?ua=1). Yayın tarihi 2002. Erişim Tarihi Ekim 10, 2018.

Zabihi, M., Rad, A. B., Kiranyaz, S., Gabbouj, M. ve Katsaggelos, A. K., (2016). Heart sound anomaly and quality detection using ensemble of neural networks without segmentation. 2016

Computing in Cardiology Conference (CinC),  
613–616 Vancouver.

Zhongwei, J., Samjin, C., (2006). A cardiac sound  
characteristics waveform. *Expert Systems with  
Applications*, **31**, 2, 286–298.

Zhukov, A., Tomin, N., Kurbatsky, V., Sidorov,  
D., Panasetsky, D. ve Foley, A., (2017).  
Ensemble methods of classification for power  
systems security assessment. *Applied  
Computing and Informatics*, **15**, 2, 100–106.



## Detection of pathological heart sound without segmentation by using SVM, kNN and ensemble methods of classification

### Extended abstract

Cardiovascular disorders or heart diseases are main culprit behind many deaths in the world. Every year, in Turkey, number of people dying due to heart diseases is more than number of people dying because of any other diseases.

In addition to advanced methods such as ECG, MRI, computed tomography and exercise test, there are simple methods like auscultate heart sounds. Furthermore, recently, many experts have been working on automatic heart diseases detection techniques based on machine learning.

Phonocardiogram (PCG) is non-stationary and complex signal which is recorded by an electronic stethoscope and converted to digital signal. PCGs are formed by physical activity of body and contain useful information for heart diseases detection. A PCG may consists of four heart sounds called S1, S2, S3 and S4, and abnormal sounds called murmur which indicates abnormality.

In this work, Training set of Physionet.org 2016 challenge is used to develop, train and test an algorithm that can detect pathological or abnormal heart sounds. This set contains 3240 PCG recordings which 2514 of them are normal and 662 of them are abnormal from six databases around the world. Different body location and devices are used when these databases are created. In order minimize negative effects of these differences, one additional classification phase is added to the algorithm. Therefore, the algorithm consists of six phase which are preprocess, feature extraction-1, database classification, feature extraction-2, ultimate classification and voting.

In preprocess phase, PCG recordings are denoised by a special technique developed by Schmidt at al. (2010) and normalized by minmax normalization.

In feature extraction-1 phase, statistical features (minimum, maximum, mean, median, skewness, kurtosis, RMS, ratio of RMS to maximum) of frequency domain between 0-200 Hz and 800-1000 Hz of signal that is calculated by fast

Fourier transform (FFT) are calculated ( $8 \times 2 = 16$  features) to feed input of database classifier.

In database classification phase, PCG recordings are classified by ensemble method of classifier (EMC) as per databases which are recordings obtained from. Therefore, different features can be extracted; different classifier can be trained and tested for different databases. Parameters of ensemble classifier are as flow: algorithm used to ensemble weak classifiers is AdaBoostM2, weak classifier is decision tree, number of weak classifier is 487 and learning rate is 0.4591.

In feature extraction-2 phase, RMS, zero crossing rate, skewness, kurtosis, mean, standard deviation, variance, entropy, maximum, median and total harmonic distortion of frequency domain are calculated. Same statistical features given above except median and total harmonic distortion of detail and approximation coefficients of third and fourth level discrete wavelet transform are extracted. Same statistical feature given above except zero crossing rate, median and total harmonic distortion of mel frequency cepstrum coefficients are calculated. After feature extraction, sequential forward feature selection is applied, and number of features is reduced.

In ultimate classification phase, three classifiers (SVM, kNN and ensemble of classification) for each database, total 18 classifiers are trained to detect abnormal heart sound recordings.

In voting phase, predefined rules are used to vote each classifier results. Rule acquired best performance is as follow: for database-a: "if any result of classifier is abnormal then recording is abnormal", for database-b: "if result of kNN or EMC is abnormal then recording is abnormal", for database-c: "if result of SVM is abnormal then recording is abnormal", for database-d: same as database-a, for database-e: "if result of kNN is abnormal then recording is abnormal", for database-f: "if result of EMC is abnormal then recording is abnormal".

An accuracy of 94.28%, a specificity of 95.91%, a sensitivity of 87.97%, a PPV of 84.78%, a NPV of 96.87%, area under ROC curve 91.94% and a score of 91.94% are best result obtained. These results are better than first three entries of challenge and very close to work completed after challenge.

**Keywords:** Heart sound, PCG, Fourier transform, MFCC, SVM, kNN, EMC, Classification



## 915 MHz taşıyıcı frekansında RF enerji hasatlama

**Mustafa CANSIZ\***

Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

[mustafa.cansiz@dicle.edu.tr](mailto:mustafa.cansiz@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0003-2534-9770, Tel: (412) 241 10 00 (3514)

Geliş: 08.11.2018, Kabul Tarihi: 12.11.2018

### Öz

RF enerji hasatlama gelecek vaat eden bir teknolojidir. Nesnelerin interneti, kablosuz sensör ağları veya çok düşük güç tüketen birçok cihaz ve uygulama için gerekli olan enerji RF enerji hasatlama teknoloji sayesinde kablosuz olarak karşılanabilmektedir. Fiziksel erişimin çok zor olduğu veya çok riskli olduğu alanlardaki cihazların enerji ihtiyacı yine bu teknoloji tarafından sağlanabilmektedir. Bununla birlikte RF enerji hasatlama destekleyici bir enerji kaynağı olarak kullanıldığında batarya ömrünü de uzatmaktadır.

Bu çalışmada, National Instruments firmasına ait PXIe-1082 sinyal üretici 915 MHz taşıyıcı frekansında ve sürekli dalga modunda 0 dBm'den başlayarak 10 dBm'e kadar RF giriş güç sinyali üretmiştir. Üretilen RF güç sinyali koaksiyel kablo vasıtasıyla doğrudan Powercast firmasının P2110-EVB enerji hasatlama modülüne gönderilmiştir. Enerji hasatlama modülünün girişine gelen RF güç sinyaline karşılık üretmiş olduğu akım ve gerilim değerleri bir multimetre ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Daha sonra ölçülen akım ve gerilim değerleriyle enerji hasatlama modülünün üretmiş olduğu DC çıkış gücü hesaplanmıştır. Ayrıca enerji hasatlama devrelerinin performansını gösteren güç verimlilik eğrisi grafik üzerinde gösterilmiştir.

Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre 5 dBm RF giriş güç seviyesine karşılık en yüksek güç verimlilik oranı %56.92 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte 0 dBm RF giriş güç seviyesine karşılık en düşük güç verimlilik oranı %45.60 olarak belirlenmiştir. 915 MHz taşıyıcı frekansında sürekli dalga modunda 0 dBm ile 10 dBm arasında RF enerji hasatlama modülünün girişine gelen gücün yaklaşık yarısı oranında enerji hasatlama yaptığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** RF enerji hasatlama; Kablosuz enerji hasatlama; Güç verimliliği

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Yeni enerji kaynaklarının keşfi ve mevcut enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanımı bilimsel araştırma konularının başında yer almaktadır. Güneş, ısı, mekanik titreşim ve çevremizi saran elektromanyetik dalgalar çok önemli enerji kaynaklarıdır (Kim vd., 2014). Bu enerji kaynaklarından elde edilen güç yoğunluğu enerji kaynağına göre değişmektedir. Bahsi geçen enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi en çok yararlanılan ve aynı zamanda en yüksek güç yoğunluğuna sahip enerji türüdür (Jaffe ve McSpadden 2013). Buna karşın güneş enerjisinden sadece güneş varken yararlanılır. Isı enerjisi termoelektrik malzemedeki sıcaklık farkından elde edilmektedir (Siddique vd., 2016). Sıcaklık farkının olmadığı durumlarda ise herhangi bir enerji elde edilememektedir. Piezoelektrik malzemeler uygulanan mekanik titreşimler ile enerji üretebilmektedir (Turkmen ve Celik 2018). Uygulanan mekanik titreşimlerin şiddetine göre üretilen enerji değişmektedir ve mekanik titreşimlerin olmadığı durumlarda enerji üretilmemektedir. Çevremizi saran elektromanyetik dalgalardan elde edilen güç yoğunluğu bahsi geçen diğer enerji türlerine göre en düşük olan enerji türüdür. Ancak bu dalgaların hemen hemen her yerde olması ve aynı zamanda geniş bir alana yayılmış olması gibi avantajları göz önünde tutulduğunda bu enerji türünden gelecekte daha çok faydalanılacağı anlaşılmaktadır.

Kablosuz enerji hasatlama veya radyo frekans (RF) enerji hasatlama teknolojisinde son zamanlarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir (Takacs vd., 2017; Le vd., 2008; Reinisch vd., 2011). Bu teknolojik gelişmeler sayesinde Kablosuz Sensör Ağları (Wireless Sensor Networks) ve Nesnelerin İnterneti (Internet of Things) gibi birçok uygulama için RF enerji hasatlama uygun bir kablosuz enerji kaynağı olmuştur. Batarya değişiminin çok zor ve riskli olduğu veya fiziksel erişimin sorunlu olduğu

cihazlarda RF enerji hasatlayıcılardan elde edilen enerji bu cihazların beslenmesinde kullanılabilir.

Bir RF enerji hasatlama devresi genel olarak anten, doğrultucu (Rectifier), gerilim katlayıcı (Voltage Multiplier), empedans uyumlandırma ve enerji depolama gibi bölümlerden oluşmaktadır. RF enerji hasatlama devresinde kullanılan anten ortamdaki elektrik alan şiddetini gerilim farkına dönüştüren bir elemandır. Doğrultucu bölümü antenden gelen RF sinyali içinde barındırdığı diyot sayesinde doğrultur ve kondansatör ile regüle eder. Böylece RF sinyalini DC sinyale dönüştürmüş olur. Genellikle RF enerji hasatlama devresinin doğrultucu çıkışındaki DC gerilim seviyesi düşük değerli olmaktadır. Hasatlama devresinin gerilim katlayıcı bölümü bu düşük DC gerilim seviyesini daha yüksek değerli DC gerilim seviyesine çıkarmakta kullanılır. Tüm bu devre bölümleri arasında maksimum güç transferi için empedans uyumu olması gerekmektedir. Empedans uyumunun olmadığı kısımlarda çeşitli tekniklerle empedans uyumu sağlanabilmektedir. RF enerji hasatlama devresi ile elde edilen enerji son olarak süper kapasitör veya bataryada depolanabilmektedir veyahut doğrudan beslenecek olan cihaza bağlanabilmektedir.

Ortamdaki en yüksek güç yoğunluğuna sahip elektromanyetik dalgaların frekans bandının tespiti enerji hasatlamak için çok kritik bir öneme sahiptir. Dolayısıyla bu frekans bandında yapılacak olan enerji hasatlama ile hem elde edilecek enerji miktarı hem de verimlilik değeri diğer bandlara göre daha fazla olabilmektedir. Birçok ülkede ortamdaki elektromanyetik dalgaların güç yoğunluğunun tespiti için çeşitli ölçümler yapılmıştır (Pinuela vd., 2013; Cansiz, vd., 2016; Kawahara vd., 2009; Visser ve Vullers 2012; Cansiz ve Kurt 2012; Sun vd., 2013; Noguchi ve Arai 2013; Arrawatia vd., 2011). Ülkeden ülkeye farklı frekans bandlarının güç yoğunluğu değişebilmektedir. Bu ölçüm sonuçlarına göre RF enerji hasatlama

devresi en yüksek miktarda enerji hasatlamak için tek bandlı, çok bandlı veya geniş bandlı olarak tasarlanabilmektedir.

Bu çalışmada, sinyal üretici 915 MHz taşıyıcı frekansında ve sürekli dalga modunda 0 dBm - 10 dBm arasında RF giriş gücü sinyali üretmiştir. RF güç sinyali koaksiyel kablo ile enerji hasatlama modülüne gönderilmiştir. RF güç sinyaline karşılık enerji hasatlama modülünün üretmiş olduğu akım ve gerilim değerleri bir multimetre ile ölçülmüştür. Daha sonra ölçülen akım ve gerilim değerleriyle DC çıkış gücü hesaplanmıştır. Bununla birlikte enerji hasatlama devrelerinin performansını gösteren güç verimlilik eğrisi elde edilmiştir.

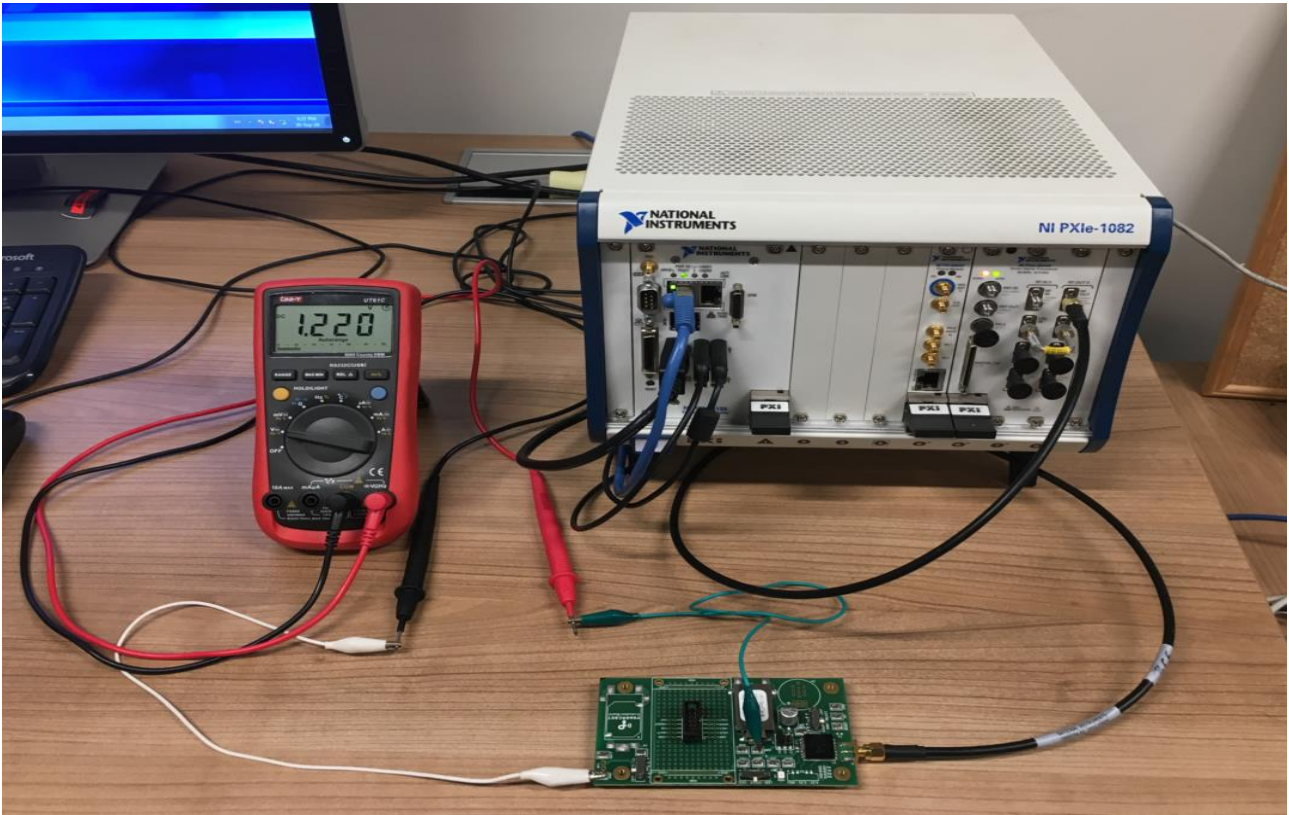
## Materyal ve Yöntem

### Ölçüm Düzenegi

Şekil 1'de görüldüğü gibi Powercast firmasına ait olan P2110-EVB Powerharvester modülü RF

enerji hasatlama devresi olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte National Instruments firmasının NI PXIe-1082 cihazı RF enerji hasatlama devresini beslemek için çeşitli güç değerlerinde sinyal üretmiştir. P2110-EVB Powerharvester modülünün üretmiş olduğu akım ve gerilim değerlerini ölçmek için de bir adet multimetreden faydalanılmıştır.

National Instruments firmasının NI PXIe-1082 sinyal üretici 915 MHz taşıyıcı frekansta sürekli dalga (Continuous wave) modunda 0 dBm ile 10 dBm arasında 1 dBm aralıklarla RF giriş gücü sinyali üretmiştir. Bu üretilen belirli seviyedeki RF güç sinyali koaksiyel kablo vasıtasıyla doğrudan P2110-EVB enerji hasatlama modülüne bağlanmıştır. Daha sonra bir multimetre aracılığıyla P2110-EVB enerji hasatlama modülünün çıkışındaki akım ve gerilim değerleri ölçülmüş ve hasatlama modülünün üretmiş olduğu DC çıkış gücü bu ölçümlere göre hesaplanmıştır.



Şekil 1. RF enerji hasatlama ölçüm düzenegi.

### P2110-EVB enerji hasatlama modülü

RF enerji hasatlama modülü girişine gelen RF güç sinyalini DC güç sinyale dönüştürmektedir. Böylece üretilen DC güç süper kapasitörde veya bataryada depolanabilmektedir. P2110-EVB enerji hasatlama modülü 902 MHz ile 928 MHz frekans bandında verimli bir şekilde enerji hasatlamaya imkan tanımaktadır. Bu enerji hasatlama modülünün RF giriş güç seviyesi hassasiyeti -11.5 dBm'e kadar inmektedir. Bu çalışmada P2110-EVB enerji hasatlama modülüne, sinyal üretici ile enerji hasatlama modülü arasında güç kaybı olmaması için, doğrudan koaksiyel kablo ile bağlanılmıştır. Modülde 50  $\Omega$  değerinde anten girişi bulunmaktadır. Böylece anten takılıken havadan doğrudan enerji hasatlama yapmak yine mümkün olmaktadır. Bununla birlikte ortamdaki RF güç yoğunluğunun yeterli olması şartıyla enerji hasatlama modülü belirli sabit gerilim değerlerinde DC güç ürettiğinden bazı uygulamaları doğrudan besleyebilmektedir. Böylece bu uygulamalar için başka bir enerji kaynağına gereksinim duyulmamaktadır.

### Güç verimlilik oranı

RF enerji hasatlama modüllerinin performansı girişlerine gelen RF gücü hangi oranda DC güce dönüştürdükleri ile ölçülebilir (Altinel & Karabulut Kurt 2016; Altinel & Kurt 2014).

$$\eta = \frac{DC \text{ çıkış gücü}}{RF \text{ giriş gücü}} \times 100 \quad (1)$$

Bağıntıda  $\eta$  güç verimlilik oranını göstermektedir. Bununla birlikte *RF giriş gücü* NI PXIe-1082 sinyal üreticinin güç seviyesini ve *DC çıkış gücü* ise P2110-EVB enerji hasatlama modülünün ürettiği DC çıkış güç seviyesini göstermektedir.

RF enerji hasatlama modüllerinin içinde bulunan doğrultucu diyotlar ve diğer devre elemanları bu dönüştürme sırasında güç kayıplarına neden olmaktadır. Dolayısıyla bu da enerji hasatlama modüllerinin verimliliğini düşürmektedir. Güç verimlilik oranını artırmak için hassas devre elemanları seçilmelidir. Ayrıca güç kaybına neden olacağından gereksiz devre elemanlarından mümkün olduğu kadar kaçınılmalıdır.

### Bulgular ve Tartışma

Literatürde çok sayıda RF enerji hasatlama ile ilgili devre tasarımı ve uygulamaları yer almaktadır (Kuhn vd., 2015; Niotaki vd., 2014; Olgun vd., 2010; Wang ve Negra 2013; Oka vd., 2014; Song vd., 2016; Bolos vd., 2016; Song vd., 2015). Bu çalışmada, RF enerji hasatlama devresi olarak Powercast firmasına ait P2110-EVB modülü hazır alınarak kullanılmıştır.

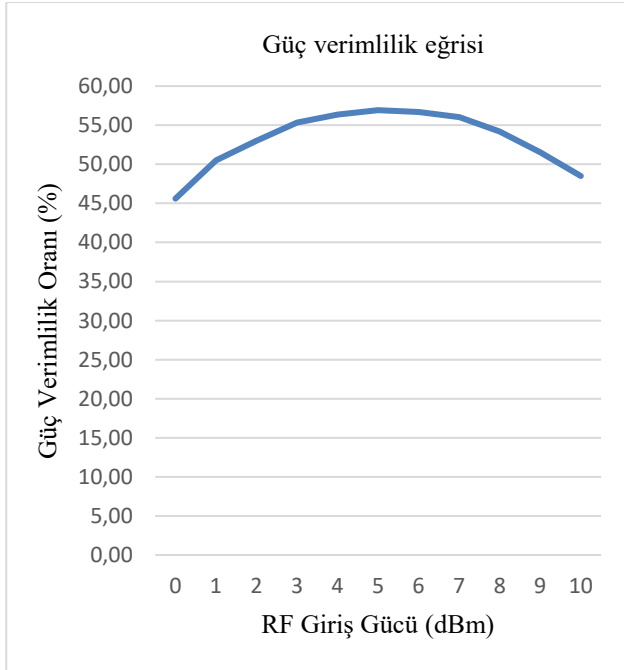
NI PXIe-1082 sinyal üretici 915 MHz taşıyıcı frekansta sürekli dalga modunda 0 dBm'den başlayarak 1 dBm aralıklarla 10 dBm'e kadar RF giriş güç sinyali üretmiştir. Üretilen bu RF güç sinyali koaksiyel kablo aracılığıyla doğrudan P2110-EVB enerji hasatlama modülüne gönderilmiştir. RF giriş güç seviyesine karşılık enerji hasatlama devresinin ürettiği DC çıkış güç seviyesi ve 1 nolu bağıntıdaki gibi hesaplanan güç verimlilik oranı Tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu çalışmada 5 dBm RF giriş güç seviyesine karşılık enerji hasatlama devresi tarafından 1.8 mW DC çıkış gücü üretilmiştir ve %56.92 gibi en yüksek güç verimlilik oranı yakalanmıştır. Bununla birlikte 0 dBm RF giriş güç seviyesine karşılık enerji hasatlama devresi tarafından 0.456 mW DC çıkış gücü üretilmiştir ve %45.60 gibi en düşük güç verimlilik oranı elde edilmiştir.

**Tablo 1.** RF giriş gücü, DC çıkış gücü ve güç verimlilik oranı

RF giriş güç seviyesi (dBm)	DC çıkış güç seviyesi (mW)	Güç verimlilik oranı (%)
10	4.848	48.48
9	4.092	51.52
8	3.420	54.20
7	2.808	56.03
6	2.256	56.67
5	1.800	56.92
4	1.416	56.37
3	1.104	55.33
2	0.840	53.00
1	0.636	50.52
0	0.456	45.60

RF giriş güç seviyelerine karşılık güç verimlilik oranlarındaki farklılıklar diyot gibi doğrusal olmayan devre elemanların yapısından kaynaklanmaktadır. Doğrusal olmayan bu devre elemanları farklı frekans ve güç seviyelerine farklı tepkiler vermektedirler.

0 dBm - 10 dBm RF giriş güç seviyelerine karşılık 1 nolu bağıntıdan yararlanılarak Şekil 2'deki güç verimlilik eğrisi elde edilmiştir. Güç verimlilik eğrisi dikkatle incelendiğinde güç verimlilik oranlarının en yüksek %56.92 ve en düşük %45.60 değerleri arasında olduğu görülecektir. 0 dBm - 10 dBm RF giriş güç seviyelerine karşılık P2110-EVB enerji hasatlama modülünün yaklaşık olarak %50 oranında hasatlama yaptığı kabul edilirse enerji hasatlama modülünün, girişine gelen gücün yaklaşık yarısını hasatladığı kabul edilecektir. Dolayısıyla P2110-EVB kablosuz enerji hasatlama modülünün 915 MHz taşıyıcı frekansta sürekli dalga modunda 0 dBm - 10 dBm RF giriş güç seviyelerine karşılık güç verimlilik oranının yaklaşık %50 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Güç verimlilik eğrisi

## Sonuçlar

RF enerji hasatlama ya da kablosuz enerji hasatlama umut vaat eden bir teknolojidir. Kablosuz sensör ağları, nesnelerin interneti veya çok az güç tüketen birçok cihaz veya uygulama için gerekli olan enerji bu teknoloji sayesinde kablosuz olarak sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada, National Instruments firmasına ait NI PXIe-1082 sinyal üretici ile 915 MHz taşıyıcı frekansında sürekli dalga modunda 0 dBm ile 10 dBm arasında enerji hasatlama devresini beslemek için RF giriş güç sinyali üretilmiştir. Sinyal üreticiden gelen RF güç sinyali koaksiyel kablo aracılığıyla doğrudan P2110-EVB enerji hasatlama modülüne gönderilmiştir. Enerji hasatlama modülünün ürettiği akım ve gerilim değerleri bir multimetre ile ölçülmüş ve daha sonra bu akım ve gerilim değerlerine göre DC çıkış gücü hesaplanmıştır.

Yapılan ölçümlere göre %56.92 gibi en yüksek güç verimlilik oranı 5 dBm RF giriş güç seviyesine karşılık gelmektedir. Bununla birlikte %45.60 gibi en düşük güç verimlilik oranı ise 0 dBm RF giriş güç seviyesine denk gelmektedir. RF enerji hasatlama modülünün 915 MHz taşıyıcı frekansında sürekli dalga modunda 0 dBm ile 10 dBm arasında RF giriş güç seviyelerine karşılık olarak kendisine gelen gücün yaklaşık yarısını oranında hasatlama yapmış olduğu tespit edilmiştir.

## Teşekkür

İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç.Dr. Güneş KARABULUT KURT'a vermiş olduğu değerli desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

## Kaynaklar

- Altinel, D. & Karabulut Kurt, G., 2016. Energy Harvesting from Multiple RF Sources in Wireless Fading Channels. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(11), pp.8854–8864.
- Altinel, D. & Kurt, G.K., 2014. Statistical models for battery recharging time in RF energy harvesting systems. In *2014 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*. IEEE, pp. 636–641. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6952122/>.
- Arrawatia, M., Maryam Shojaei Baghini & Kumar, G., 2011. RF energy harvesting system from cell towers in 900MHz band. In *2011 National Conference on Communications (NCC)*. IEEE, pp. 1–5. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5734733/>.
- Bolos, F., Belo, D. & Georgiadis, A., 2016. A UHF rectifier with one octave bandwidth based on a non-uniform transmission line. In *2016 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*. IEEE, pp. 1–3. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7540083/>.
- Cansiz, M. et al., 2016. Mapping of radio frequency electromagnetic field exposure levels in outdoor environment and comparing with reference levels for general public health. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, (October), pp.1–5. Available at: <http://www.nature.com/doi/10.1038/jes.2016.64>.
- Cansiz, M. & Kurt, M.B., 2012. Drive Test Yöntemi ile Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 3(2), pp.101–110.
- Jaffe, P. & McSpadden, J., 2013. Energy Conversion and Transmission Modules for Space Solar Power. *Proceedings of the IEEE*, 101(6), pp.1424–1437. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6494252/>.
- Kawahara, Y., Tsukada, K. & Asami, T., 2009. Feasibility and potential application of power scavenging from environmental RF signals. In *2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*. IEEE, pp. 1–4. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5171785/>.
- Kim, S. et al., 2014. Ambient RF energy-harvesting technologies for self-sustainable standalone wireless sensor platforms. *Proceedings of the IEEE*, 102(11), pp.1649–1666.
- Kuhn, V. et al., 2015. A Multi-Band Stacked RF Energy Harvester With RF-to-DC Efficiency Up to 84%. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 63(5), pp.1768–1778. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7080943/>.
- Le, T., Mayaram, K. & Fiez, T., 2008. Efficient Far-Field Radio Frequency Energy Harvesting for Passively Powered Sensor Networks. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 43(5), pp.1287–1302. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4494663/>.
- Niotaki, K. et al., 2014. Dual-Band Resistance Compression Networks for Improved Rectifier Performance. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 62(12), pp.3512–3521. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6957619>.
- Noguchi, A. & Arai, H., 2013. Small loop rectenna for RF energy harvesting. In *2013 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC)*. IEEE, pp. 86–88. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6695199/>.
- Oka, T. et al., 2014. Triple-band single-diode microwave rectifier using CRLH transmission line. *Asia-Pacific Microwave Conference*, (c), pp.1013–1015.
- Olgun, U., Chen, C.-C. & Volakis, J.L., 2010. Wireless power harvesting with planar rectennas for 2.45 GHz RFIDs. In *2010 URSI International Symposium on Electromagnetic Theory*. IEEE, pp. 329–331. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5637008/>.
- Pinuela, M., Mitcheson, P.D. & Lucyszyn, S., 2013. Ambient RF Energy Harvesting in Urban and Semi-Urban Environments. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 61(7), pp.2715–2726. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6519964/>.
- Reinisch, H. et al., 2011. An Electro-Magnetic Energy Harvesting System With 190 nW Idle Mode Power Consumption for a BAW Based Wireless Sensor Node. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 46(7), pp.1728–1741. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5928970/>.
- Siddique, A.R.M. et al., 2016. Thermal energy harvesting from the human body using flexible thermoelectric generator (FTEG) fabricated by a dispenser printing technique. *Energy*, 115, pp.1081–1091. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.087>.

- Song, C. et al., 2015. A High-Efficiency Broadband Rectenna for Ambient Wireless Energy Harvesting. *A High-efficiency Broadband Rectenna for Ambient Wireless Energy Harvesting*, 63(MAY), pp.3486–3495.
- Song, C. et al., 2017. Matching Network Elimination in Broadband Rectennas for High-Efficiency Wireless Power Transfer and Energy Harvesting. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(5), pp.3950–3961. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7801010/>.
- Sun, H. et al., 2013. A Dual-Band Rectenna Using Broadband Yagi Antenna Array for Ambient RF Power Harvesting. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12, pp.918–921. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6557434/>.
- Takacs, A. et al., 2017. Recent advances in electromagnetic energy harvesting and Wireless Power Transfer for IoT and SHM applications. In *2017 IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics (ECMSM)*. IEEE, pp. 1–4. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7945868/>.
- Turkmen, A.C. & Celik, C., 2018. Energy harvesting with the piezoelectric material integrated shoe. *Energy*, 150, pp.556–564. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.159>.
- Visser, H.J. & Vullers, R.J.M., 2012. Wireless sensors remotely powered by RF energy. In *2012 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*. IEEE, pp. 1–4. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6206234/>.
- Wang, D. & Negra, R., 2013. Design of a dual-band rectifier for wireless power transmission. In *2013 IEEE Wireless Power Transfer (WPT)*. IEEE, pp. 127–130. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6556899/>.



## RF energy harvesting at 915 MHz carrier frequency

### Extended abstract

*RF energy harvesting is a promising technology. The energy required for Internet of Things (IoT), Wireless Sensor Networks (WSN), or many devices and applications that consume very low power can be supplied wirelessly by the RF energy harvesting technology. The energy requirements of the devices in areas where physical access is very difficult or too risky can be provided by this technology. In addition to that, when the RF energy harvesting is used as a supporting energy source for some devices, it also extends the battery life of the devices.*

*An RF energy harvesting circuit generally consists of sections such as antenna, rectifier, voltage multiplier, impedance matching circuit and energy storage devices. The antenna used in the RF energy harvesting circuit is a device that converts the electrical field strength into the voltage difference. The rectifier section rectifies the RF signal and regulates it with a capacitor. Therefore, the RF signal is converted to DC signal. Generally, the DC voltage level at the rectifier output of the RF energy harvesting circuit is low. For that reason, the voltage multiplier section of the energy harvesting circuit is used to increase this low DC voltage level to a higher DC voltage level. For maximum power transfer, it is necessary to have impedance matching between all these energy harvesting circuit sections. In case of impedance mismatching between circuit sections, impedance matching can be achieved by various techniques. The energy obtained by the RF energy harvesting circuit may be stored in the super capacitor or battery or may be connected directly to the device which to be fed.*

*The detection of the frequency band of the electromagnetic waves which carry the highest power density in the ambient environment is of critical importance for harvesting energy. Therefore, the energy to be harvested in this frequency band might be higher than the other frequency bands in terms of amount of harvested energy and the power efficiency value. Several measurements have been performed to determine the power density level of electromagnetic waves in the ambient environment in many countries.*

*According to these measurement results, the RF energy harvesting circuit can be designed as single band, multi band or wide band to harvest the highest amount of energy.*

*In this study, the PXIe-1082 signal generator from National Instruments produced an RF input power signal from 0 dBm up to 10 dBm at 915 MHz carrier frequency in continuous wave mode. The generated RF power signal was sent directly to the P2110-EVB energy harvesting module from Powercast Company through the coaxial cable. The current and voltage values produced by the energy harvesting module versus the RF input power level were measured with a multimeter. Besides, the power efficiency curve that shows the performance rate of the RF energy harvesting circuits was shown on the graph.*

*According to the results of the measurement, the highest power efficiency ratio versus the 5 dBm RF input power level was calculated as %56.92. In addition to that, the lowest power efficiency ratio versus 0 dBm RF input power level was stated as %45.60. It was determined that between 0 dBm and 10 dBm power range at 915 MHz carrier frequency in the continuous wave mode, the RF energy harvesting module harvested approximately half of the input power.*

**Keywords:** *RF energy harvesting; Wireless energy harvesting; Power efficiency*



## Konuşma Tabanlı Duygu Tanımda Ön İşleme ve Öznitelik Seçim Yöntemlerinin Etkisi

**Turgut ÖZSEVEN\***

Tokat Gazosmanpaşa Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Tokat  
[turgut.ozseven@gop.edu.tr](mailto:turgut.ozseven@gop.edu.tr) ORCID: 0000-0002-6325-461X, Tel: (356) 252 16 16 (2938)

Geliş: 18.12.2018, Kabul Tarihi: 01.12.2019

### Öz

*Konuşma tabanlı duygu tanımda sayısal sinyal işleme ile sayısal hale getirilen ses sinyalinden elde edilen öznitelikler kullanılmaktadır. Konuşmadan çıkartılan özniteliklerin tamamı tek boyut altında ele alınabildiği gibi boyutsal veya yapı bakımından gruplandırılarak da ele alınmaktadır. Bu çalışmada, öznitelik seçim ve ön işleme yöntemlerinin duygu tanımdaki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, EMO-DB veri seti ve üç farklı sınıflandırıcı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek başarı çok katmanlı algılayıcı ve yüksek geçiren filtre ile %90.3 olarak elde edilmiştir. Spektral öznitelikler prosodik özniteliklerden daha yüksek başarı sağlamıştır. Ayrıca, bayanlar erkeklere göre ve 20-29 yaş aralığındaki bireyler 30-35 yaş aralığındaki bireylere göre duygularını seslerine daha fazla yansıtmaktadır. Çalışmada ele alınan ön işleme yöntemlerinden yüksek geçiren filtreler sınıflandırıcı başarısını artırırken alçak geçiren, bant geçiren filtreler ve gürültü giderme başarı oranını düşürmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** Konuşmadan duygu tanıma; ön işleme; öznitelik seçimi; filtreleme;duygu sınıflandırma;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Duygu tanıma psikoloji, psikiyatri ve bilişsel bilim gibi alanlarda her geçen yıl artarak ihtiyaç duyulan bir çalışma alanıdır. Duygu tanıma için kullanılan iki temel yöntem konuşma ve yüz ifadelerinin analizidir (Bayrakdar, Akgün, ve Yücedağ 2017). Konuşma işleme bir sinyal işleme süreci olup ses kalitesinin artırılması, kişi tanıma, konuşma tanıma, duygu tanıma ve iletişim gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Konuşma işleme yöntemleri öncesi konuşma üzerinden duygu tanıma (KDT) için algısal analiz kullanılmaktadır. Algısal analiz konuşmanın katılımcılara dinletilmesi ve onların yorumları ile konuşmacının içerisinde bulunduğu duygunun tanınmasıdır. Ancak, algısal analiz kişiden kişiye değişiklik göstermesi nedeni ile objektif bir yöntem değildir. Konuşmanın objektif olarak değerlendirilmesi için akustik analiz kullanılmaktadır. Akustik analiz konuşmanın içerdiği sesin üretilmesi ve sinyalin yapısı ile ilgili özniteliklerin sayısal sinyal işleme ile tespit edilmesidir. Hangi duyguların hangi akustik öznitelikler üzerinde etkili olduğunun tespiti yaş ve cinsiyet dahil olmak üzere sesteki bireysel farklılıklardan dolayı zorluk oluşturmaktadır (Zupan vd. 2009). KDT’de bir diğer zorluk ise duyguların konuşmaya tam olarak yansıtıldığı verinin elde edilmesidir. Bu nedenle çalışmalarda geçerliliği kabul görmüş EMO-DB (Burkhardt vd. 2005) ve SUSAS (Hansen vd. 1997) gibi hazır veri setleri kullanılabilirdiği gibi araştırmacı tarafından toplanan geçerliliği test edilmiş veriler de kullanılabilir. KDT’de konuşma sinyalinin kalitesini artırma, konuşma dışındaki seslerin bastırılması, vurgunun ön plana çıkartılması veya sinyal normalizasyonu gibi süreçler ön işleme adımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu adımda filtreleme yöntemleri, örnekleme değerini düşürme, ön vurgulama, gürültü azaltma ve DC-ofset kaldırma en çok kullanılan yöntemlerdir. Ayrıca, sinyal küçük zaman aralıklarında kararlı kaldığı için ön işleme adımıyla çerçeveleme ve

pencereleme kullanılmaktadır. Çerçeveleme sinyalden küçük kesitler alınmasıdır. Pencereleme sinyalden alınan çerçevelerdeki spektral sızmayı, başta ve sonda yer alan süreksizlikleri kaldırmaktadır (Tarnag vd. 2010). Rabiner ve Schafer (Rabiner ve Schafer 1978)’a göre çerçeve boyutu 10-20ms arasında seçilmesi uygundur.

Konuşma sinyallerinden öznitelik çıkartımı için Praat (Boersma ve Weenink 2010) ve OpenSMILE (Eyben, Wöllmer, ve Schuller 2010) gibi hazır araçlar kullanılabilirdiği gibi araştırmacılar tarafından geliştirilen kodlar da kullanılmaktadır. Sinyalden çıkartılan öznitelikler dört kategoride gruplandırılabilir (Huang, Xue, ve Mao 2015). Bunlar, akustik öznitelikler, dilsel öznitelikler, bağlamsal bilgi ve farklı öznitelik kümelerinin birleşiminden elde edilen hibrit öznitelikler. Çalışmalarda çoğunlukla akustik öznitelikler kullanılmış olup bunlarda kendi içerisinde prosodik ve spektral olmak üzere iki gruba ayrılır. Çoğunlukla kullanılan akustik öznitelikler perde, formant frekansları, jitter, shimmer, enerji, sıfır geçiş oranı, konuşma oranı, ses kalitesi, MFCC, LPCC, dalgacık ve TEO tabanlı özniteliklerdir.

Bu çalışmada, ön işleme yöntemleri, öznitelik kümesi ve öznitelik seçim yöntemlerinin KDT üzerinde etkisi üç farklı sınıflandırıcı ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın bir sonraki bölümünde mevcut çalışmaların özeti, 3. bölümde çalışma sürecince kullanılan veri seti ve kullanılan yöntemler detaylandırılmıştır. 4.bölüm çalışma sonucu elde edilen sonuçlarını içermektedir. Çalışmanın son bölümünde de elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

## Literatür Taraması

KDT ile ilgili literatürde yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar genel hatlarıyla, duygu sınıflandırma, öznitelik tespiti, hibrit sınıflandırıcılar ve duygular üzerinde etkili

olan özneliklere odaklanmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar incelendiğinde; KDT ön işleme adımında çoğunlukla ön vurgulama (Tarnng vd. 2010; Chen, Mao, Wei, vd. 2012; Chen, Mao, Xue, vd. 2012; Joshi ve Zalte 2013), DC-ofset kaldırma (Kandali, Routray, ve Basu 2009; Ntalampiras ve Fakotakis 2012), örnekleme değerini düşürme (Grimm vd. 2007; Sezgin, Günsel, ve Kurt 2012; Orlandi vd. 2013) ve filtreleme (alçak geçiren, yüksek geçiren ve bant geçiren filtreler) (Orlandi vd. 2013; Tao, Kang, ve Li 2006; MacCallum vd. 2011; Ludeña-Choez ve Gallardo-Antolín 2015) kullanılmıştır. Bu çalışmalarda bu yöntemler, ön işleme sürecinin bir gerekliliği olarak kabul edilmiş ve sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmemiştir. Sayısal filtrelerin akustik parametreler, cinsiyet yaş ve duygu durumu üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada ise sadece bu yöntemlerin parametreler ve demografik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiş olup duygu tanıma başarısı üzerindeki etkileri ele alınmamıştır (Özseven ve Dügenci 2017).

Özneliklerdeki birim farklılıklarını ortadan kaldırmak için normalizasyon ve öznelik kümesinin boyutunu azaltmak için öznelik seçim yöntemleri kullanılmaktadır. En çok kullanılan normalizasyon yöntemleri z-puanı (Scherer vd. 2015; Goudbeek ve Scherer 2010; Patel vd. 2011; Laukka vd. 2011; Polzehl vd. 2011; Lee vd. 2011; Sundberg vd. 2011; Truong, van Leeuwen, ve de Jong 2012; Mariooryad ve Busso 2013; Bänziger, Patel, ve Scherer 2014) ve min-maks (Clavel vd. 2008), en çok kullanılan özellik seçim yöntemleri ise temel bileşenler analizi (TBA), doğrusal ayırmacılık analizi (DAA) ve ileri doğru seçim (IDS)'dir (Özseven, Dügenci, ve Durmuşoğlu 2018). Öznelik seçimi konuşma sinyalinden elde edilen öznelik kümesinin boyutunu azaltmak ve duyguları en iyi ifade eden özneliklerin tespiti için kullanılır. Ancak, öznelik seçim yöntemlerinin kullanımı her zaman sınıflandırıcı başarısını artırmamaktadır. Grimm vd., (2007) TBA ve

tüm özneliklerin kullanımının KDT üzerindeki etkisi incelemiş ve tüm özneliklerin kullanımında daha yüksek başarı elde etmiştir (Grimm vd. 2007). Hoque vd. (2006) yaptıkları çalışmada TBA ve DAA kullanarak öznelikleri düşük boyutlu uzayda yansıtarak ve bu yöntemlerin birlikte kullanımının ayrı ayrı kullanıma göre daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmiştir (Hoque, Yeasin, ve Louwerse 2006). Fisher ve TBA öznelik seçim yöntemleri ve iki sınıflandırıcı ile gerçekleştirilen çalışmada öznelik seçiminde Fisher TBA'dan daha iyi sonuçlar üretmiştir (Chen, Mao, Xue, vd. 2012).

Gerek KDT gerekse de diğer çalışmalar için literatürde kullanılabilir çok sayıda sınıflandırıcı yer almaktadır. Ancak, bir öznelik verisi üzerinde başarılı sonuçlar elde eden sınıflandırıcı her öznelik kümesi üzerinde bu başarıyı elde edemeyebilir. Bu nedenle, sınıflandırma başarısı kullanılan sınıflandırıcı kadar kullanılan öznelik kümesi ve öznelik kümesi üzerinde yapılan işlemlerle de ilgilidir. KDT içeren çalışmalar incelendiğinde çoğunlukla gauss karışım modeli (GKM), destek vektör makineleri (DVM), saklı markov modeli (SMM), çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) ve k-en yakın komşu (k-EK) gibi tekil sınıflandırıcılar veya hybrid sınıflandırıcılar kullanılmıştır (Özseven, Dügenci, ve Durmuşoğlu 2018).

DVM tabanlı ardışıl ileri yönlü öznelik seçim yönteminin sunulduğu ve çeşitli sınıflandırıcının kullanıldığı çalışmada 276 olan öznelik kümesi 75'e düşürülmüş ve sınıflandırma başarısı DVM sınıflandırıcı için duygu tanıma oranı %84.84'den %87.5'e yükselmiştir. Diğer sınıflandırıcılar üzerindeki etkisinin de incelendiği çalışmada tüm sınıflandırıcılarda başarı oranında artış sağlanmıştır (Schuller vd. 2005). Ardışıl ileri yönlü öznelik seçim yöntemi kullanılan bir diğer çalışmada 3713 olan öznelik kümesi 150'ye düşürülmüş ve tüm öznelik kümeleri üzerinde %63 başarı elde edilirken öznelik seçimi sonrası başarı oranında azalma olmuştur (Batliner vd. 2011). Aynı öznelik seçim yönteminin kullanıldığı bir diğer

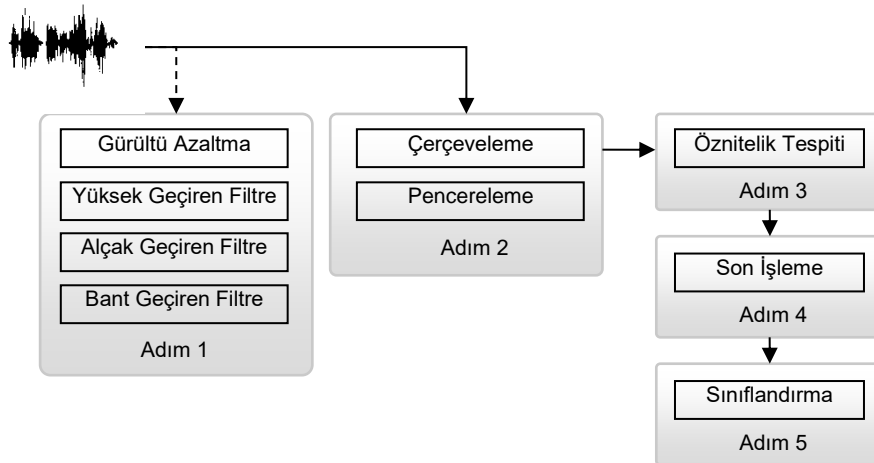
çalışmada ise 58 öznitelik kullanılmıştır. Tüm öznitelikler DVM ile sınıflandırıldığında %79.9, öznitelik seçimi sonrası 15 öznitelik kullanıldığında ise %76.9 başarı elde edilmiştir. Yazarlar, ardışıl ileri yönlü öznitelik seçim yöntemi üzerinde değişiklik yaparak başarı oranını %82.8 olarak elde etmiştir (Altun ve Polat 2009). DVM sınıflandırıcı ve mRMR öznitelik seçim yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada 380 olan öznitelik sayısı 121'e düşürülürken başarı oranı da %78.3'den %76.8'e düşmüştür (Luengo, Navas, ve Hernaez 2010). Korelasyon tabanlı öznitelik seçimi kullanılan çalışmada 204 olan öznitelik sayısı 90'a düşürülmüştür (Zhao, Zhang, ve Lei 2014). Yazarlar, DVM sınıflandırıcı kullanıldığında %80.4 başarı elde ederken Enhanced-SRC kullandıklarında %83.2 başarı elde etmiştir.

KDT çalışmalarının mevcut durumları incelendiğinde, çok farklı oranlarda duygu tanıma başarıları elde edildiği görülmektedir. Bu durum, kullanılan veri seti, sınıflandırıcı, ön işleme yöntemleri veya öznitelik seçim yöntemine bağlı olarak oluşmaktadır. Bir diğer önemli husus ise aynı veri seti üzerinde aynı yöntemle farklı başarı oranlarının elde edilmesidir. Bunun nedeni de, kullanılan veri setinin içerdiği verilerin dağılımı dengesiz olduğunda ya sınıf sayısı azaltılmakta ya da dağılımı dengelemek için yeni veriler

eklenmektedir. Araştırmacıların KDT alanındaki eğilimleri incelendiğinde ise çalışmaların duygu tanıma başarısını artırmak için yeni öznitelik kümelerinin tespitine, hiyerarşik sınıflandırıcıların kullanımına ve ses sinyallerinin görüntüye dönüştürülerek görüntü işleme yöntemlerinin kullanımına yöneldiği görülmektedir. Ayrıca, mevcut sınıflandırma veya öznitelik seçim yöntemlerini temel alan yeni yöntemler geliştirilmektedir. İncelenen çalışmalardan da görüleceği üzere aynı koşullar altında farklı öznitelik seçim yöntemlerinin duygu tanımadaki başarısı detaylı olarak incelenmemiştir. İncelenen çalışmalar ve araştırmacıların eğilimleri göz önüne alındığında ön işleme ve öznitelik seçim yöntemlerinin duygu tanıma üzerindeki etkisinin araştırılması hem literatüre katkı sağlayacak hem de araştırmacılara yol gösterici olacaktır.

## Materyal ve Yöntem

KDT süreci kullanılan veri, elde edilmek istenen bulgular ve kullanılacak yöntemlere farklı süreçler içermektedir. Genel olarak ele alınacak olursa Şekil 1'de gösterildiği gibi 5 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlardan Adım 2, Adım 3 ve Adım 5 zorunlu olup Adım 1 ve Adım 4 sınıflandırma doğruluğunu veya sınıflandırıcı performansını artırmak için kullanılmaktadır.



Şekil 1. KDT süreci akış diyagramı

Adım 1’de konuşma sinyali sayısal sinyal işleme sürecinden geçirilerek konuşma sinyalinin tamamı üzerinde işlemler gerçekleştirilmektedir. Gürültü azaltma, sinyalin içerdiği gürültülerin bastırılarak sinyal gürültü oranı değerinin artırılmasını sağlar. Yüksek, alçak ve bant geçiren filtreler belirli frekans aralığındaki sinyallerin işleme alınması veya bastırılması için kullanılır. Adım 2 ön işleme sürecinin bir parçası olup sinyalin çerçevelere bölünmesi ve pencereleme uygulanması için kullanılır. Adım 3 her konuşma sinyali üzerinden öznitelik çıkartımını içermektedir. Adım 4 çıkartılan özelliklere normalizasyon veya öznitelik seçimi gibi yöntemlerin uygulanmasını içermektedir. Adım 5 ise elde edilen öznitelik kümesi kullanılarak duyguların sınıflandırmasını gerçekleştirmektedir. Bu akış diyagramı doğrultusunda çalışma kapsamında

gerçekleştirilen işlemler aşağıdaki alt başlıklarda verilmiştir.

### Duygu Durumlarına Göre Kategorize Edilmiş Veri Seti

Bu çalışmada Berlin Database of Emotional Speech (Emo-DB) veritabanı kullanılmıştır. Emo-DB Technical University of Berlin tarafından geliştirilen proje kapsamında aktörler tarafından konuşulan yedi farklı duygusal ifadeden oluşan ses kayıtları içermektedir. Veri seti 20-35 yaş aralığında 10 aktör tarafından 10 farklı cümle duygusal olarak ifade edilerek oluşturulmuştur. Ses kayıtları 16 kHz örnekleme frekansına sahip olup 16 bit mono’dur (Burkhardt vd. 2005). Çalışmada 535 adet ses kaydı incelenmiş olup kullanılan verilere ait özelliklerin dağılımı Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan ses kayıtlarına ait özellikler

Duygu	Erkek	Bayan	Yaş1 (30-35)	Yaş2 (20-29)	Toplam
Öfke	60	67	90	37	127
Anksiyete/Korku	36	33	51	18	69
Can Sıkıntısı	35	46	60	21	81
İğrenme	11	35	31	15	46
Mutluluk	27	44	53	18	71
Üzüntü	25	37	47	15	62
Nötr	39	40	50	29	79
Toplam	233	302	381	154	535

### Konuşma Kayıtlarının Ön İşlenmesi

Çalışma kapsamında, ön işleme adımında gürültü azaltma, yüksek, alçak ve bant geçiren filtreleme kullanılmıştır. MacCallum vd. (2011) yaptıkları çalışmada alçak geçiren filtrenin en uygun kesim frekansının 300Hz ve üstü olduğu sonucuna ulaşmıştır. Perde değeri erişkin erkekler ve kadınlarda sırası ile ortalama 100-150 Hz ve 150-250 Hz arasındadır (MacCallum vd. 2011). Filtre türü olarak Praat içerisinde yer alan Hann filtreleme kullanılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda çalışmada kullanılan filtrelere ait özellikler Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Kullanılan filtrelere ait özellikler

Filtre Türü	$f_1$	$f_2$	$w$
Alçak Geçiren	0 Hz	300 Hz	20 Hz
Yüksek Geçiren	100 Hz	0 Hz	20 Hz
Bant Geçiren	100 Hz	300 Hz	20 Hz

Tabloda verilen  $f_1$  geçiş bandının alt kenarını,  $f_2$  geçiş bandının üst kenarını ve  $w$  geçiş ve durdurma arasındaki bölgenin genişliğidir.

Konuşma sinyalindeki arka plan gürültüsü konuşma sıkıştırma, tanıma ve doğrulama gibi uygulamalarda performansı düşürülebilir. Gürültü azaltma sayısal veya analog konuşmadaki dalga biçiminden gürültünün ayrıştırılmasını sağlar (Boll 1979). Çalışmada gürültü azaltma için Praat üzerinde yer alan spektral çıkarım yöntemi kullanılmıştır. Spektral çıkarım konuşmanın spektrumundan tahmin edilen gürültü spektrumunun çıkartılması ile sinyalin iyileştirilmesi işlemidir.

### Öznitelik Kümesinin Elde Edilmesi

Konuşma sinyali durağan olmayan bir sinyaldir ama kısa zaman aralıklarında durağan olduğu kabul edilir. Kısa zaman aralıklarını elde etmek için de sinyal çerçevelere bölünmektedir. Çalışma kapsamında, çerçeve boyutu 20ms, hamming pencereleme ve %50.0 örtüşme oranı kullanılmıştır. Ön işleme sonrası akustik analiz

gerçekleştirilerek öznitelik kümesi elde edilmiştir. Elde edilen öznitelikler prosodik ve spektral olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır. Her bir özelliğin istatistiksel varyasyonları da öznitelik kümesine dahil edilerek kullanılan tüm öznitelikler Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Çalışmada kullanılan öznitelik kümesi

	Akustik Öznitelik	Değer	Ort.	Medyan	Maks	Min.	Std. Sap.	Aralık
PF (Prosodik Öznitelikler)	F0		√	√	√	√	√	√
	F1		√	√	√	√	√	√
	F2		√	√	√	√	√	√
	F3		√	√	√	√	√	√
	F1 bant genişliği			√				
	F2 bant genişliği			√				
	F3 bant genişliği			√				
	HNR		√		√	√	√	√
	Sessiz çerçeve sayısı	√						
	Duraksama derecesi	√						
	Enerji		√	√	√	√	√	√
	ZCR	√						
	Jitter local	√						
	Jitter rap	√						
	Shimmer local	√						
Shimmer apq3	√							
SF (Spektral Öznitelikler)	MFCC1...13		√	√			√	
	ΔMFCC1...13		√				√	
	LPCC1...13		√	√			√	

Çalışmada Tablo 3’de verilen toplam 149 öznitelik kullanılmış olup bu özniteliklerin 45’i PF ve 104’ü SF ‘dir. ΔMFCC öznitelikleri openSMILE (Eyben, Wöllmer, ve Schuller 2010) ile diğer öznitelikler Praat (Boersma ve Weenink 2010) ile elde edilmiştir.

Normalizasyon, öznitelik kümesinin içerdiği değerlerin dağılımını belirli bir aralıkta sabit tutarak verideki anormal dağılımı düzenlemekte ve ölçü birimi farklılıklarını ortadan kaldırmaktadır. Çalışmamızda z-puan normalizasyon kullanılmıştır (El Ayadi, Kamel, ve Karray 2011).

### Sınıflandırıcı

KDT sistemlerinde kullanılan çok sayıda sınıflandırıcı mevcuttur. Bu sınıflandırıcılar bağımsız kullanılabilir gibi birden fazla sınıflandırıcının birleşimini içeren hibrit

sınıflandırıcı olarak da karşımıza çıkmaktadır (Özseven, Düğenci, ve Durmuşoğlu 2018). Bu çalışmada, DVM, ÇKA ve k-EK sınıflandırıcılar ve sınıflandırma için de WEKA (Hall vd. 2009) paket programı kullanılmıştır. DVM istatistiksel öğrenme teorisine dayalı bir yöntemdir. Temel amaç sınıfları birbirinden en iyi şekilde ayıran karar fonksiyonun başka bir ifadeyle hiperdüzlemin tanımlanması esasına dayanır. ÇKA, sınıflandırma amacı ile geri yayımlı eğitilmiş ileri beslemeli bir ağdır (Khanchandani ve Hussain 2009). Çalışma kapsamında DVM sınıflandırıcıda öznitelik sayısı yüksek olduğu için doğrusal çekirdek tercih edilmiştir. ÇKA için giriş katmanında öznitelik sayısı kadar nöron, gizli katmanda (öznitelik+sınıf sayısı)/2 adet katman ve çıkış katmanında 7 nöron kullanılmıştır.

## Bulgular

Çalışmada kullanılan EMO-DB 'de yer alan her bir ses kaydı için 45'i PF ve 104'ü SF olmak üzere toplamda 149 öznitelik kümesi oluşturulmuştur. 535 veri ve 149 öznitelik 10-katlamalı çapraz doğrulama ile eğitim ve test kümesine ayrılmıştır. Sınıflandırma işlemi öznitelik kümeleri ve ön işleme yöntemlerinin her birisi için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar normalizasyon, öznitelik kümesi,

ön işleme yöntemleri, yaş/cinsiyet ve duygu bazlı olarak verilmiştir.

### Öznitelik Kümesinin Sınıflandırma Başarısı Üzerindeki Etkileri

PF ve SF içeren 535x149 (PF+SF), PF içeren 535x45 ve SF içeren 535x104 boyutlarındaki matrisler analizlerde kullanılmıştır. Elde edilen öznitelik kümesi ile gerçekleştirilen sınıflandırma başarısı Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 4.** Tüm verinin sınıflandırma başarısı

Öznitelik Kümesi	DVM		ÇKA		k-EK	
	GS (sn)	TO (%)	GS (sn)	TO (%)	GS (sn)	TO (%)
PF+SF	327.77	66.0	60.63	89.2	0.01	70.1
PF	421.46	55.9	7.26	75.3	0.0	56.5
SF	0.92	79.1	35.07	84.1	0.01	70.7

GS: Gerçekleşme süresi, TO: Duygu tanıma başarısı

Tablo 4'e göre SF'nin başarıya etkisi PF'den daha yüksektir. Ayrıca verideki ölçü birimi farklılıkları DVM sınıflandırıcının performansında ciddi düşmelere neden olmuştur. Mevcut durumda en yüksek başarı ÇKA sınıflandırıcıda PF+SF birleşiminde elde

edilmiştir. DVM sınıflandırıcı için gerçekleşme süresi PF kümesinde çok yüksek olup SF kümesinde çok düşüktür ve SF öznitelik kümesindeki başarı daha yüksektir. Öznitelik kümesine z-puan normalizasyon uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar Tablo 5'de verilmiştir.

**Tablo 5.** Normalize edilmiş öznitelik kümesinin sınıflandırma başarısı

Öznitelik Kümesi	DVM		ÇKA		k-EK	
	GS (sn)	TO (%)	GS (sn)	TO (%)	GS (sn)	TO (%)
PF+SF	0.78	86.7	62.73	89.2	0.0	70.1
PF	0.5	71.9	9.84	75.3	0.0	56.5
SF	1.02	83.0	40.29	84.1	1.0	70.7

GS: Gerçekleşme süresi, TO: Duygu tanıma başarısı

Tablo 5'e göre normalizasyon ÇKA ve k-EK sınıflandırıcıda hiçbir değişikliğe neden olmazken DVM sınıflandırıcıda hem gerçekleşme süresi hem de doğruluk anlamında ciddi artışlar sağlamıştır. Bunun nedeni DVM sınıflandırıcıların istatistiksel öğrenme temeline dayanmasıdır.

Prosodik ve spektral özniteliklerin birleşiminin başarısı daha yüksek olduğu için öznitelik seçiminin sınıflandırmaya başarısının etkisi bu öznitelik kümesi üzerinde araştırılmıştır. Öznitelik seçim yöntemi olarak ileri doğru seçim (IDS), temel bileşen analizi (TBA) ve aykırı değer algılama (ADA) kullanılmıştır.

**Tablo 6.** Normalize edilmiş öznitelik kümesinde öznitelik seçimi sonrası elde edilen sonuçlar

Öznitelik Seçim Yöntemi	Öznitelik Boyut	DVM		ÇKA		k-EK		
		DO(%)	TO(%)	DO(%)	TO(%)	DO(%)	TO(%)	
ADA	120	↓ 19.5	88.4	↑ 1.7	89.2	↔ 0.0	71.2	↑ 1.1
IDS	55	↓ 63.1	80.8	↓ 5.9	79.0	↓ 10.2	71.0	↑ 0.9
TBA	70	↓ 53.0	85.1	↓ 1.6	83.6	↓ 5.6	61.9	↓ 8.2

TO: Duygu tanıma başarısı, DO: Değişim oranı



Tablo 6'ya göre ADA yöntemi tüm sınıflandırıcılar için en yüksek duygu tanıma oranına sahiptir. ÇKA sınıflandırıcı için başarı oranı değişmemiş olsa bile öznelik sayısı azaltıldığı için sonuç başarılı sayılabilir. ADA kullanıcı kontrolünde gerçekleştirildiği için yoruma açıktır. Sonuçlar özellik seçim yöntemine göre yorumlandığında IDS yöntemi sadece k-EK sınıflandırıcıda başarıyı artırmış olup ÇKA ve DVM'de düşüşe neden olmuştur. TBA yöntemi en yüksek başarıyı DVM sınıflandırıcı da elde etmiştir.

### Ön İşlemenin Sınıflandırma Başarısı Üzerindeki Etkileri

Bu bölümde gürültü azaltma, yüksek, alçak ve bant geçiren filtrelerin sınıflandırıcı başarıları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Analizlerde üç sınıflandırıcı ve ADA öznelik seçim yöntemi kullanılmıştır. Ön işleme sonrası elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Ön işleme sonrası elde edilen sonuçlar

Ön İşleme Yöntemi	TO (%)								
	DVM			ÇKA			k-EK		
	PF+SF	PF	SF	PF+SF	PF	SF	PF+SF	PF	SF
-	88.4	73.3	84.9	89.2	67.2	87.9	71.2	60.5	74.3
<b>Yüksek Geçiren Filtre</b>	↑ 88.5	↑ 72.2	↓ 84.0	↑ 90.3	↑ 72.4	↓ 86.0	↑ 72.9	↓ 60.3	↓ 72.8
<b>Alçak Geçiren Filtre</b>	↓ 75.4	↔ 73.3	↓ 68.6	↓ 80.7	↔ 69.2	↓ 72.0	↓ 61.3	↓ 56.6	↓ 62.6
<b>Bant Geçiren Filtre</b>	↓ 73.1	↓ 72.9	↓ 67.7	↓ 79.8	↔ 78.7	↓ 71.3	↓ 68.0	↓ 55.7	↓ 61.6
<b>Gürültü Azaltma</b>	↓ 69.8	↓ 68.1	↓ 61.7	↓ 74.1	↓ 64.5	↓ 67.7	↓ 54.7	↓ 53.0	↓ 49.5

TO: Duygu tanıma başarısı

Yüksek geçiren filtre başarı oranında artış sağlarken alçak geçiren, bant geçiren ve gürültü azaltma başarı oranında düşüşe neden olmuştur. Bu nedenle KDT sistemlerinde alçak geçiren, bant geçiren ve gürültü azaltma yöntemlerinin kullanılması uygun değildir. Sonuçlar öznelik kümelerine göre incelendiğinde başarı oranındaki değişim özellikle SF'den kaynaklanmaktadır. Yüksek geçiren filtre başarı oranında en yüksek %5.2 artış ile PF'de sağlamıştır. Gürültü azaltma hem PF hem de SF'de başarı oranında düşüşe neden olmuştur. Özet olarak KDT sistemlerinde ön işleme

yöntemlerinde sadece yüksek geçiren filtreleme başarıyı olumlu yönde etkilemektedir.

### Cinsiyet ve Yaşın Sınıflandırma Başarısı Üzerindeki Etkileri

EMO-DB 'nin içerdiği her ses kaydı konuşmacının yaş ve cinsiyet bilgisini içermektedir. Yaş ve cinsiyetin KDT üzerindeki etkisini araştırmak için en yüksek başarıya sahip olan ÇKA sınıflandırıcı, yüksek geçiren filtre ve ADA öznelik seçim yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. ÇKA sınıflandırıcı ile yaş ve cinsiyete bağlı sonuçlar

	TO (%)		
	PF+SF	PF	SF
<b>Erkek</b>	↔ 90.3	↑ 82.2	↓ 83.1
<b>Bayan</b>	↑ 91.8	↑ 78.6	↑ 87.5
<b>Yaş1 (30-35)</b>	↓ 89.2	↑ 80.9	↓ 84.7
<b>Yaş2 (20-29)</b>	↔ 90.3	↑ 73.3	↓ 84.9

TO: Duygu tanıma başarısı

Tablo 8'e göre PF ile erkek ve bayan içeren sınıflandırmanın tek bir cinsiyet içeren sınıflandırmaya göre daha düşük başarıya sahip olduğu görülmektedir. PF, sınıflandırma

başarısını erkek için %9.8 ve bayan için %6.2 artırmıştır. SF'de ise cinsiyet gözetmeksizin sınıflandırma sadece erkek içeren sınıflandırmaya göre %2.9 daha fazla başarılı ve

sadece bayan içeren sınıflandırmaya göre %1.5 daha başarısız olduğu görülmektedir. PF+SF özellik kümesinde elde edilen sonuçlara göre bayanlar duygularını seslerine erkeklerden daha fazla yansıtmaktadır. Aynı durum yaş için de geçerli olup 20-29 yaş aralığındaki bireyler duygularını seslerine daha fazla yansıtmaktadır.

### Her Bir Duygu İçin Elde Edilen Sınıflandırma Başarısı

Elde edilen tüm sonuçlar doğrultusunda z-puan normalizasyon, ADA öznitelik seçim yöntemi ve yüksek geçiren filtre ile en yüksek başarı %90.3 ile ÇKA sınıflandırıcı da elde edilmiştir. Bu sonuca ait başarı içeren çalışmanın karışıklık matrisi Tablo 9'da verilmiştir.

**Tablo 9.** ÇKA sınıflandırıcı ile tanıma oranları

Duygu	Mutluluk	Nötr	Öfke	Üzüntü	Korku	Can Sık.	İğrenme	TO (%)
Mutluluk	55	1	12	0	3	0	0	77.5
Nötr	1	73	0	0	2	2	1	92.4
Öfke	10	0	117	0	0	0	0	92.1
Üzüntü	0	0	0	60	0	2	0	96.8
Korku	2	1	4	1	61	0	0	88.4
Can sıkıntısı	0	3	0	1	0	75	2	92.6
İğrenme	0	0	2	0	1	1	42	91.3

TO: Duygu tanıma başarısı

Duyguların tanıma oranları incelendiğinde en yüksek başarı üzüntü ve en düşük başarı mutluluk duygularında elde edilmiştir. Öfke duygusuna en yakın duygu mutluluk, üzüntü

duygusuna en yakın duygu can sıkıntısı olarak tespit edilmiştir. Her bir duygunun cinsiyet ve yaşa göre analizi ile elde edilen sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.

**Tablo 10.** Cinsiyet ve yaşa göre duygu tanıma başarıları

	Mutluluk	Nötr	Öfke	Üzüntü	Korku	Can Sık.	İğrenme	TO (%)
Tüm veri	77.5	92.4	92.1	96.8	88.4	92.6	91.3	90.3
Erkek	↑ 83.2	↓ 87.8	↑ 99.8	↓ 92.5	↑ 88.9	↓ 80.5	↓ 63.9	90.3
Bayan	↑ 81.3	↑ 97.9	↓ 82.8	↑ 97.8	↓ 84.9	↑ 97.8	↑ 94.8	91.8
Yaş1	↓ 76.4	↓ 88.3	↓ 85.7	↑ 97.9	↓ 84.2	↓ 91.7	↑ 96.8	89.2
Yaş2	↑ 81.2	↑ 96.8	↑ 96.5	↓ 86.9	↓ 78.9	↓ 81.2	↓ 86.7	90.3

Tablo 10'a göre erkeklerin en iyi ifade ettiği duygu öfke, bayanların ki ise üzüntü ve can sıkıntısı duygularıdır. 30-35 yaş aralığındakilerin en iyi ifade ettiği duygu üzüntü ve 20-29 yaş aralığındakilerin ise öfkedir. Bu durum erkeklerin ve gençlerin öfkelerine çok fazla yansıttığını göstermektedir. Duygu bazlı analize göre mutluluk, öfke ve korku duyguları erkeklerde; üzüntü, can sıkıntısı ve iğrenme duyguları bayanlarda; üzüntü, korku, can sıkıntısı ve iğrenme 30-35 yaş aralığındaki bireylerde; mutluluk ve öfke 20-29 yaş aralığındaki bireylerde daha kolay tespit edilmektedir.

### Uygulama Sonuçları

Sunulan bu çalışmada aktörler tarafından seslendirilen ve 7 duygu durumu içeren EMO-DB kullanılmıştır. EMO-DB üzerinden çıkartılan öznitelik kümesinin, ön işleme yöntemlerinin, yaş ve cinsiyet bilgisinin duyguyu ifade etme oranı başka bir ifadeyle KDT sisteminin başarısındaki etkisi araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre en yüksek başarı ÇKA sınıflandırıcıda elde edilmiş olup bunu sırasıyla DVM ve k-EK takip etmiştir. Ancak, DVM sınıflandırıcının analizi gerçekleştirme süresi ÇKA sınıflandırıcıdan çok daha düşüktür. DVM istatistiksel öğrenme temeline dayandığı için veri normalize edildikten sonra sınıflandırıcının

başarı oranı artarken gerçekleştirme süresi önemli derecede düşmüştür.

Sınıflandırıcının başarısını artırmak, gerçekleştirme süresini kısaltmak veya daha az sayıda öznitelik ile duygu tanıma gerçekleştirmek için öznitelik kümesinde öznitelik seçim yöntemleri ile boyut indirgemesi yapılmaktadır. Öznitelik kümesinin çok büyük olduğu verilerde veya duyguları tam ifade etmeyen özniteliklerin veride yer alması durumunda öznitelik seçim yöntemi sınıflandırıcının başarısını artırmaktadır. Çalışmamızda yer alan özellik seçim yöntemlerinden ADA ile normal dağılıma sahip olmayan 29 özneliğin çıkartılması tüm sınıflandırıcılarda başarı oranını artırmıştır. Öznitelik kümesi IDS 'de %63.1 ve TBA 'da

%53.0 azaltılmasına rağmen başarı oranları daha düşük oranlarda düşmüştür. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki öznitelik seçim yöntemleri ile boyut indirgemesi yüksek oranda gerçekleştirildiğinde sınıflandırıcının başarısı az da olsa düşmektedir. Ancak, ADA gibi sınırlı sayıda öznitelik indirgenmesi sınıflandırıcının performansında artışa neden olmaktadır.

Yapılan analizler sonrası elde edilen özet Tablo 11'de verilmiştir. Tabloda kullanılan “<<” sınıflandırma başarısının çok fazla azaldığını, “<” sınıflandırma başarısının azaldığını, “O” sınıflandırma başarısında değişiklik olmadığını, “>” sınıflandırma başarısının arttığını ve “>>” sınıflandırma başarısının çok fazla arttığını göstermektedir.

**Tablo 11.** Ön işleme ve demografik verilere bağlı özet sonuçlar

	DVM			ÇKA			k-EK		
	PF	SF	PF+SF	PF	SF	PF+SF	PF	SF	PF+SF
<b>Yüksek Geçiren Filtre</b>	>	<	>	>>	<	>	O	<	>
<b>Alçak Geçiren Filtre</b>	O	<<	<<	>	<<	<<	<	<<	<<
<b>Bant Geçiren Filtre</b>	O	<<	<<	>>	<<	<<	<	<<	<
<b>Gürültü Azaltma</b>	<<	<<	<<	<	O	<<	<	<<	<<
<b>Erkek</b>	>	<	<	>	<	O	>	<	>
<b>Bayan</b>	>	>	>	>>	>	>	>>	<	>
<b>Yaş1</b>	>	O	>	>	O	<	<	O	>>
<b>Yaş2</b>	<	>	<<	>	<	O	>>	>	>

“<<” çok düşük, “<” düşük, “O”, “>” yüksek, “>>” çok yüksek

Tablo 11'de verilen özet incelendiğinde cinsiyet ve yaş durumunun duyguyu ifade etmede farklılık gösterdiği ve bu durumun sınıflandırıcı başarısına yansıdığı görülmektedir. Bayanların erkeklere göre ve 20-29 yaş aralığındaki bireylerin 30-35 yaş aralığındaki bireylere göre duygularını seslerine daha fazla yansıttığı görülmüştür. Bu durum 20-29 yaş aralığında bayan katılımcılarla gerçekleştirilecek çalışmalarda daha yüksek başarı elde edileceğini göstermektedir.

Ön işleme yöntemlerinin sınıflandırıcı başarısı üzerindeki etkileri incelendiğinde yüksek geçiren, bant geçiren ve alçak geçiren filtreler genel olarak prosodik öznitelik kümelerinde başarıyı artırırken, spektral öznitelik kümelerinde düşürmüştür. Prosodik öznitelikler sesin üretilmesi ile ve spektral özellikler ses sinyalinin yapısı ile ilgili olduğu için elde edilen

sonuçlar beklendiği gibidir. Yüksek geçiren filtreler tüm sınıflandırıcılarda başarı oranını artırırken alçak geçiren ve bant geçiren filtreler başarı oranında düşüşe neden olmuştur. Gürültü azaltma tüm sınıflandırıcılarda başarı oranını önemli oranda düşürmüştür. Bunun nedeni konuşma içerisindeki her türlü gürültü anlamsız değildir. Örneğin konuşmadaki nefes alıp verme şekli sese gürültü olarak yansiyabilir ama duygusal durum ile ilgili ipucu sunmaktadır. Bu gürültünün konuşmadan atılması duygunun yok olmasına neden olacaktır. Gürültü azaltmanın başarı oranını düşürmesinin nedeni EMO-DB içerisindeki ses kayıtları aktörler tarafından özel olarak oluşturulmuştur ve ortam gürültüsü içermemektedir. Bu konuşma üzerinde gürültü azaltma yapılması konuşmadaki akustik parametrelerde değişime neden olmakta ve her duygu için yaklaşık değerler elde edilmektedir. Elde edilen yaklaşık değerler de farklı duyguları

ifade etmemektedir. Sonuç olarak ön işleme yöntemlerinden sadece yüksek geçiren filtreleme sınıflandırıcı performansını artırmaktadır.

## Sonuç

KDT kişilerin konuşmalarından duygu durumlarının seslerine yansımaları ve içinde bulunulan duygunun tespit edilmesini amaçlamaktadır. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için konuşmalardan çeşitli özniteliklerin çıkartılması ve bunlardan kullanışlı olanların sisteme dahil edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, öznitelik kümesinin, ön işleme yöntemlerinin, yaş ve cinsiyet bilgisinin duyguyu ifade etme oranı araştırılmıştır. Özellik seçim yöntemlerinin öznitelik boyutunu yüksek oranda azaltırken, KDT başarımı düşük oran düşürdüğü sonucuna ulaşılmıştır. Cinsiyet durumu göz önüne alındığında, bayan ve erkeklerin duygularını seslerine farklı şekilde yansıttığı görülmüştür. Benzer durum yaş, cinsiyet ve duygu ilişkisinde de geçerlidir. Filtreleme yöntemlerinin KDT üzerindeki etkisi öznitelik kümesinin türüne göre değişim göstermektedir. Ayrıca, konuşmanın içerdiği gürültünün duygunun sese yansımaları üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

## Kaynaklar

Altun, Halis, ve Gökhan Polat. 2009. "Boosting Selection of Speech Related Features to Improve Performance of Multi-Class SVMs in Emotion Detection". *Expert Systems with Applications* 36 (4): 8197-8203. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.10.005>.

Bänziger, Tanja, Sona Patel, ve Klaus R. Scherer. 2014. "The Role of Perceived Voice and Speech Characteristics in Vocal Emotion Communication". *Journal of Nonverbal Behavior* 38 (1): 31-52. <https://doi.org/10.1007/s10919-013-0165-x>.

Batliner, Anton, Stefan Steidl, Björn Schuller, Dino Seppi, Thuri Vogt, Johannes Wagner, Laurence Devillers, vd. 2011. "Whodunnit – Searching for the Most Important Feature Types Signalling Emotion-Related User States in Speech". *Computer Speech & Language* 25 (1): 4-28. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2009.12.003>.

Bayrakdar, Sümeyye, Devrim Akgün, ve İbrahim Yücedağ. 2017. "Video dosyaları üzerinde yüz ifade analizi için hızlandırılmış bir yaklaşım." *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences* 23 (5).

Boersma, Paul, ve David Weenink. 2010. *Praat: doing phonetics by computer [Computer program], Version 5.1. 44*.

Boll, Steven F. 1979. "Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction". *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on* 27 (2): 113–120.

Burkhardt, Felix, Astrid Paeschke, Miriam Rolfes, Walter F. Sendlmeier, ve Benjamin Weiss. 2005. "A database of German emotional speech." İçinde *Interspeech*, 5:1517–1520. [https://www.kw.tu-berlin.de/fileadmin/a01311100/A\\_Database\\_of\\_German\\_Emotional\\_Speech\\_-\\_Burkhardt\\_01.pdf](https://www.kw.tu-berlin.de/fileadmin/a01311100/A_Database_of_German_Emotional_Speech_-_Burkhardt_01.pdf).

Chen, Lijiang, Xia Mao, Pengfei Wei, Yuli Xue, ve Mitsuru Ishizuka. 2012. "Mandarin Emotion Recognition Combining Acoustic and Emotional Point Information". *Applied Intelligence* 37 (4): 602-12. <https://doi.org/10.1007/s10489-012-0352-1>.

Chen, Lijiang, Xia Mao, Yuli Xue, ve Lee Lung Cheng. 2012. "Speech Emotion Recognition: Features and Classification Models". *Digital Signal Processing* 22 (6): 1154-60. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2012.05.007>.

Clavel, C., I. Vasilescu, L. Devillers, G. Richard, ve T. Ehrette. 2008. "Fear-Type Emotion Recognition for Future Audio-Based Surveillance Systems". *Speech Communication* 50 (6): 487-503. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2008.03.012>.

El Ayadi, Moataz, Mohamed S. Kamel, ve Fakhri Karray. 2011. "Survey on Speech Emotion Recognition: Features, Classification Schemes, and Databases". *Pattern Recognition* 44 (3): 572-87. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2010.09.020>.

Eyben, Florian, Martin Wöllmer, ve Björn Schuller. 2010. "Opensmile: the munich versatile and fast open-source audio feature extractor". İçinde *Proceedings of the international conference on Multimedia*, 1459–1462. ACM. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1874246>.

Goudbeek, Martijn, ve Klaus Scherer. 2010. "Beyond Arousal: Valence and Potency/Control Cues in the Vocal Expression of Emotion". *The Journal of the Acoustical Society of America* 128 (3): 1322. <https://doi.org/10.1121/1.3466853>.

Grimm, Michael, Kristian Kroschel, Emily Mower, ve Shrikanth Narayanan. 2007. "Primitives-Based

- Evaluation and Estimation of Emotions in Speech". *Speech Communication* 49 (10-11): 787-800.  
<https://doi.org/10.1016/j.specom.2007.01.010>.
- Hall, Mark, Eibe Frank, Geoffrey Holmes, Bernhard Pfahringer, Peter Reutemann, ve Ian H. Witten. 2009. "The WEKA data mining software: an update". *ACM SIGKDD explorations newsletter* 11 (1): 10-18.
- Hansen, John HL, Sahar E. Bou-Ghazale, Ruhi Sarikaya, ve Bryan Pellom. 1997. "Getting started with SUSAS: a speech under simulated and actual stress database." İçinde *Eurospeech*, 97:1743-46.  
[https://catalog.ldc.upenn.edu/docs/LDC99S78/sus\\_sas\\_rev1b4.ps](https://catalog.ldc.upenn.edu/docs/LDC99S78/sus_sas_rev1b4.ps).
- Hoque, Mohammed E., Mohammed Yeasin, ve Max M. Louwerse. 2006. "Robust recognition of emotion from speech". İçinde *Intelligent Virtual Agents*, 42-53. Springer.  
[http://link.springer.com/chapter/10.1007/11821830\\_4](http://link.springer.com/chapter/10.1007/11821830_4).
- Huang, Zheng-wei, Wen-tao Xue, ve Qi-rong Mao. 2015. "Speech emotion recognition with unsupervised feature learning". *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering* 16: 358-366.
- Joshi, Dipti D., ve M. B. Zalte. 2013. *Recognition of Emotion from Marathi Speech Using MFCC and DWT Algorithms*. IJACECT.  
[http://www.irdindia.co.in/journal/journal\\_ijacect/pdf/vol2\\_iss2/11.pdf](http://www.irdindia.co.in/journal/journal_ijacect/pdf/vol2_iss2/11.pdf).
- Kandali, Aditya Bihar, Aurobinda Routray, ve Tapan Kumar Basu. 2009. "Vocal Emotion Recognition in Five Native Languages of Assam Using New Wavelet Features". *International Journal of Speech Technology* 12 (1): 1-13.  
<https://doi.org/10.1007/s10772-009-9046-4>.
- Khanchandani, K. B., ve Moiz A. Hussain. 2009. "Emotion recognition using multilayer perceptron and generalized feed forward neural network". *Journal of Scientific and Industrial Research* 68 (5): 367.
- Laukka, Petri, Daniel Neiberg, Mimmi Forsell, Inger Karlsson, ve Kjell Elenius. 2011. "Expression of Affect in Spontaneous Speech: Acoustic Correlates and Automatic Detection of Irritation and Resignation". *Computer Speech & Language* 25 (1): 84-104.  
<https://doi.org/10.1016/j.csl.2010.03.004>.
- Lee, Chi-Chun, Emily Mower, Carlos Busso, Sungbok Lee, ve Shrikanth Narayanan. 2011. "Emotion Recognition Using a Hierarchical Binary Decision Tree Approach". *Speech Communication* 53 (9-10): 1162-71.  
<https://doi.org/10.1016/j.specom.2011.06.004>.
- Ludeña-Choez, Jimmy, ve Ascensión Gallardo-Antolín. 2015. "Feature extraction based on the high-pass filtering of audio signals for Acoustic Event Classification". *Computer Speech & Language* 30 (1): 32-42.
- Luengo, Iker, Eva Navas, ve Inmaculada Hernaez. 2010. "Feature Analysis and Evaluation for Automatic Emotion Identification in Speech". *IEEE Transactions on Multimedia* 12 (6): 490-501.  
<https://doi.org/10.1109/TMM.2010.2051872>.
- MacCallum, Julia K., Aleksandra E. Olszewski, Yu Zhang, ve Jack J. Jiang. 2011. "Effects of low-pass filtering on acoustic analysis of voice". *Journal of Voice* 25 (1): 15-20.
- Mariooryad, S., ve C. Busso. 2013. "Exploring Cross-Modality Affective Reactions for Audiovisual Emotion Recognition". *IEEE Transactions on Affective Computing* 4 (2): 183-96.  
<https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2013.11>.
- Ntalampiras, S., ve N. Fakotakis. 2012. "Modeling the Temporal Evolution of Acoustic Parameters for Speech Emotion Recognition". *IEEE Transactions on Affective Computing* 3 (1): 116-25.  
<https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2011.31>.
- Orlandi, Silvia, P. H. Dejonckere, Jean Schoentgen, Jean Lebacqz, N. Rruqja, ve Claudia Manfredi. 2013. "Effective pre-processing of long term noisy audio recordings: An aid to clinical monitoring". *Biomedical Signal Processing and Control* 8 (6): 799-810.
- Özseven, Turgut, ve Muharrem Düğenci. 2017. "The effects of digital filters on acoustic parameters, gender, age and emotion". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences* 23 (2): 144-48.  
<https://doi.org/10.5505/pajes.2016.00922>.
- Özseven, Turgut, Muharrem Düğenci, ve Alptekin Durmuşoğlu. 2018. "A Content Analysis of the Research Approaches in Speech Emotion Recognition" 7 (1): 1-26.
- Patel, Sona, Klaus R. Scherer, Eva Björkner, ve Johan Sundberg. 2011. "Mapping Emotions into Acoustic Space: The Role of Voice Production". *Biological Psychology* 87 (1): 93-98.  
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.02.010>.
- Polzehl, Tim, Alexander Schmitt, Florian Metzke, ve Michael Wagner. 2011. "Anger Recognition in Speech Using Acoustic and Linguistic Cues". *Speech Communication* 53 (9-10): 1198-1209.  
<https://doi.org/10.1016/j.specom.2011.05.002>.

- Rabiner, Lawrence R., ve Ronald W. Schafer. 1978. *Digital processing of speech signals*. Prentice Hall.
- Scherer, Klaus R., Johan Sundberg, Lucas Tamarit, ve Gláucia L. Salomão. 2015. "Comparing the Acoustic Expression of Emotion in the Speaking and the Singing Voice". *Computer Speech & Language* 29 (1): 218-35. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2013.10.002>.
- Schuller, Björn, Ronald Müller, Manfred K. Lang, ve Gerhard Rigoll. 2005. "Speaker independent emotion recognition by early fusion of acoustic and linguistic features within ensembles." İçinde *INTERSPEECH*, 805–808. Citeseer. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.364.5140&rep=rep1&type=pdf>.
- Sezgin, Mehmet Cenk, Bilge Günsel, ve Gunes Karabulut Kurt. 2012. "Perceptual audio features for emotion detection". *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing* 2012 (1): 1–21.
- Sundberg, Johan, Sona Patel, Eva Bjorkner, ve Klaus R. Scherer. 2011. "Interdependencies among Voice Source Parameters in Emotional Speech". *IEEE Transactions on Affective Computing* 2 (3): 162-74. <https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2011.14>.
- Tao, Jianhua, Yongguo Kang, ve Aijun Li. 2006. "Prosody conversion from neutral speech to emotional speech". *Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on* 14 (4): 1145–1154.
- Tarnq, Wernhuar, Yuan-Yuan Chen, Chien-Lung Li, Kun-Rong Hsie, ve Mingteh Chen. 2010. "Applications of support vector machines on smart phone systems for emotional speech recognition". *World Academy of Science, Engineering and Technology* 72: 106–113.
- Truong, Khiet P., David A. van Leeuwen, ve Franciska M.G. de Jong. 2012. "Speech-Based Recognition of Self-Reported and Observed Emotion in a Dimensional Space". *Speech Communication* 54 (9): 1049-63. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2012.04.006>.
- Zhao, Xiaoming, Shiqing Zhang, ve Bicheng Lei. 2014. "Robust Emotion Recognition in Noisy Speech via Sparse Representation". *Neural Computing and Applications* 24 (7-8): 1539-53. <https://doi.org/10.1007/s00521-013-1377-z>.
- Zupan, Barbra, Dawn Neumann, Duncan R. Babbage, ve Barry Willer. 2009. "The importance of vocal affect to bimodal processing of emotion: implications for individuals with traumatic brain injury". *Journal of Communication Disorders* 42 (1): 1–17.

## The Impact of Pre-processing and Feature Selection Methods for Speech Emotion Recognition

### Extended abstract

*Speech emotion recognition uses features obtained from digital signal processing and digitized sound signal. All of the features extracted from the speech can be handled under one dimension as well as grouped in terms of dimensional or structure. In this study, the effects of feature selection and preprocessing methods on emotion detection were investigated. For this purpose, EMO-DB data set and three different classifiers are used.*

*EMO-DB includes voice recordings consisting of 7 different emotions (anger, boredom, disgust, anxiety/fear, happiness, sadness, neutral) spoken by actors within the project developed by department of communication science at Institute of Speech and Communication of Technical University of Berlin. The database was created by emotional expressions of 10 different sentences by 10 actors in 20-35 age interval. Voice records have 16 kHz sampling frequency and 16 bit mono features.*

*In this paper high-pass, band-pass and low-pass filter are used in pre-processing.*

*Speech signal is a nonstationary signal but it is accepted as stationary in short time intervals. In order to obtain short time intervals the signal is divided into frames. In our study signal processing was performed with 20ms frame length, hamming window and 50.0% overlapping pre-processing processes. Features are extracted from each frame. Features used in the study are divided into two groups namely prosodic and spectral. Statistical variations of each feature is included in the feature set.*

*According to the results obtained, the highest success was achieved with 90.3% with multi-layer perceptron and high-pass filter. Spectral features provide higher success than prosodic features. In addition, females compared to males and individuals in 20-29 age interval compared to individuals in 30-35 age interval reflect their emotions more to their voices. Among the filtering methods obtained in the study, high-pass filtering increased the success of classifier whereas low-pass filtering, band-pass filtering and noise reduction reduced it.*

**Keywords:** *Speech emotion recognition, Pre-processing, Feature selection, Filtering, Emotion classification*



## Maksimum Güç Noktası İzleyicisinde Kullanılan Artan İletkenlik Algoritmasının FPGA Tabanlı Gerçeklenmesi

**Seyran AY\***

Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır  
[seyraaanay@gmail.com](mailto:seyraaanay@gmail.com), ORCID:0000-0002-7639-0805, Tel: (546) 8690785

**Muhammet Ali ARSERİM**

Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır  
[marserim@dicle.edu.tr](mailto:marserim@dicle.edu.tr), ORCID: 0000-0002-9913-5946, Tel: (5505) 82220042

Geliş: 15.02.2019, Kabul Tarihi: 21.02.2019

### Öz

Fosil yakıtların çevreyi kirletmeleri ve rezervlerinin yakın bir gelecekte tükenecek olmaları sebebiyle, son yıllarda dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim hızla artmıştır. Güneş ışınlarından fotovoltaik(FV) paneller ile elektrik enerjisi üretimi de yenilenebilir enerji üretimi metotlarının en önemlilerinden birisidir. Ticari olarak üretilen FV panellerin verimleri %17 ile %21 arasındadır. Bu yüzden verimlerinin daha da düşmemesi için, FV panellerinin akım-gerilim karakteristiklerine göre, bu karakteristikten, maksimum güç elde edecek şekilde bir çalışma noktası bulmak gerekir. Bu noktayı bulmak üzere çeşitli Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNI) algoritmaları üretilmiştir. Bu algoritmalarından birisi de artan iletkenlik algoritmasıdır. Bu yöntemde anlık akım ve gerilim değerlerinin oranlanmasıyla FV panelinin anlık iletkenliği ve akım, gerilim artışlarıyla da artan iletkenliği bulunmaktadır. Bu değerlerin kullanılmasıyla da akım gerilim karakteristiğine göre FV panelin çalışma noktası bulunmaktadır. Ancak işlemlerin uygun şekilde yapılabilmesi için hızlı bir donanıma ihtiyaç duyulmaktadır. Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi (Field Programmable Gate Array (FPGA)) saat hızının 100MHZ'ler civarında olmasına rağmen yapılan işlemleri donanımsal olarak gerçekleştirilmesinden dolayı tercih edilebilmektedir. Ayrıca hem paralel işlem yapabilmesi hem de giriş ile çıkış arasındaki gecikmelerin o işleme ait yolda bulunan kapıların gecikmelerinin toplamı olması nedeniyle, işlem yapabilme hızı müthiş derecede artmaktadır. Bununla birlikte MATLAB/Simulink benzetim programında mevcut olan donanım kosimülatörü vasıtasıyla, oluşturulan algoritma FPGA'da gerçekleştirilebilmektedir. Simülasyondan alınan giriş sinyalleri FPGA içerisinde işlendikten sonra tekrar benzetim programına gönderilerek sonuçlar alınabilir. Böylece algoritmanın doğruluğu test edilebilmektedir. Bu çalışmada artan iletkenlik algoritmasının FPGA donanımıyla oluşturulmasına ait benzetim BASYS3 FPGA gerçekleştirme platformu için MATLAB/SİMULİNK programında oluşturulmuştur. Bununla birlikte donanım ko-simülatör bloğuyla oluşturulan algoritma BASYS3 kartına yüklenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Maksimum Güç Noktası İzleme; Artan iletkenlik algoritması, Basys3; donanım kosimülatörü;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar



## Giriş

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynağı tesislerinin kurulumu hızla artmaktadır. Bunun sebepleri arasında fosil yakıt rezervlerinin bitecek olması ve temiz enerji kullanımı ile doğal çevrenin kirlenmesinin azaltılması gelmektedir [Faraji, 2014]. Güneş enerjisi rüzgâr enerjisi ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biridir. Güneş, dünyamız için doğal ısınma ve aydınlatma kaynağıdır. Bununla birlikte insanlık için gerekli olan elektrik enerjisi, güneşten ısı veya Fotovoltaik(FV) yollardan da elde edilebilmektedir. Fotovoltaik enerji ve rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji üretimi metotlarının en önemlileri olarak sayılabilir. Ancak FV teknolojisi, temiz ve gürültüsüz çalışabilme özelliğinden dolayı tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra, özellikle Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde, güneşlenme miktarının fazlalığı FV sistemlerinin kurulması için avantaj sağlamaktadır.

Fotovoltaik (FV) sistemler ihtiyaca göre çatı üzerinden büyük ölçekli enerji santrallerine kadar değişkenlik gösterebilir. FV sistemler offgrid (şebekeden bağımsız) veya şebekeye bağlı olarak çalışabilir. Bununla birlikte günümüzdeki FV sistemlerinin çoğu çeşitli sebeplerden dolayı şebekeye bağlı olarak çalışırlar [Singh, 2014]. Ayrıca şebekeye bağlı PV sistemlerinin yüke yakın olması nedeniyle, iletim ve dağıtım kayıpları önemli ölçüde azalmakta ve enerji verimliliği ağırlanmaktadır [Rekioua, 2012]. Bununla birlikte bu tür sistemler yük miktarına göre enerji alışverişi yapacak şekilde bağlı olduğu şebekeyle paralel çalışırlar [Rekioua, 2012].

FV sistemlerin çıkış güçleri atmosferik koşullara göre sürekli değişmektedir. Bu yüzden atmosferin anlık koşullarına göre, FV sistemlerinden maksimum güç elde edebilmek için, bir Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MGNI) tekniği kullanmak neredeyse zorunlu hale gelmiştir [Liu, 2008]. Literatürde değiştir gözle, artan iletkenlik, kesirli açık devre gerilimi, kesirli kısa devre akımı, yapay sinir ağı ve bulanık mantık gibi çok çeşitli metotlar

önerilmektedir [Faranda, 2008]. Bu çalışmada artan iletkenlik metodu kullanılmıştır. Artan iletkenlik yönteminde, panel akım ve gerilimlerinin ardışıl değerleri kullanılmaktadır. Ayrıca bu yöntem yukarıda bahsedilen durum ele alındığında DSP ve mikroişlemci kontrolünde kullanılabilir [Esram, 2007].

MATLAB yazılımı matematikçiler, bilim adamları ve özellikle mühendisler tarafından kullanılan etkin bir sayısal hesaplama yazılımıdır. Bununla birlikte sahip olduğu Simulink simülasyon editöründe çok çeşitli alanlarda problemlere ait benzetimler yapılabilmektedir. Simulink simülasyon editörünün sahip olduğu araç kutularından biri de Simscape araç kutusudur ve bununla elektrik, makine, robotik vb. birçok alana ait fiziksel problemler simüle edilebilir [Hassell, 2013]. Simscape araç kutusu kullanılarak elektrik şebekelerinin analizi ve şebekeyle ilgili uygulamalar da yapılabilmektedir.

System Generator, FPGA tasarımlarının Simulink'te yapılmasını sağlamak üzere Xilinx firması tarafından üretilmiş bir Sayısal İşaret İşleme (Digital Sinal Processing(DSP)) tasarım aracıdır. Böylece FPGA tasarımı çok daha az bilgiyle, ilgili Xilinx araç kutusuna özgü blokların kullanılmasıyla yapılabilmektedir. System Generator donanımsal ko-simülasyon desteklemektedir [Xilinx, 2017]. Donanımsal ko-simülasyonun kullanılmasıyla Xilinx araç kutusuna özgü bloklar ilgili Xilinx donanımında çalıştırılmakta ve bu da simülasyon hızının çok daha fazla olmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada Dicle Üniversitesi'nde daha önceden kurulmuş olan 250 kW gücündeki güneş enerjisi santralının bünyesinde olan 10 kW gücündeki bir inverterin verileri alınarak, bir şebeke modeli Simulink grafik editöründe oluşturulmuştur. Ayrıca bu inverter için gerekli olan MGNI algoritması olarak artan iletkenlik algoritması seçilmiş ve bu algoritma Xilinx araç kutusunun elemanlarıyla tasarlanmıştır. Buna ek olarak, oluşturulan algoritmanın performansı hava koşullarının değişkenlik gösterdiği bir güne ait gerçek verilerle karşılaştırılmıştır.



enerji D diyotu üzerinden yüke aktarılmaktadır. Eğer devre akımının sürekli olarak akacağı varsayılıyorsa, ortalama çıkış gerilimi,

$$v_o = V_i \frac{1}{1-d} \quad (6)$$

olarak bulunur. Burada  $v_i$  giriş gerilimi,  $v_o$  çıkış gerilimi ve  $d$  doluluk oranıdır.

### FPGA ve System Generator

FPGA programlanabilir lojik elemanlar ailesinden olup, yapısı itibarıyla programlanabilen ara bağlantılarla bağlanan, programlanabilen lojik bloklardan oluşmaktadır. FPGA günümüzde led tv, cep telefonu, modem gibi vb. birçok elektronik cihazda kullanıldığı gibi inverter kontrolü, çeviriciler, matris çeviriciler, elektrik makinaları sürücüleri ve yapay sinir ağı bulanık mantık kontrolörleri gibi elektriksel sistem kontrolünde kullanılmaktadır [Monmasson, 2007]. FPGA'nın saat hızı, CPU ve GPU'nun saat hızlarına göre düşük olmasına rağmen, sahip olduğu yüksek performans, herhangi bir uygulamaya yönelik tamamıyla optimize edilmiş devre dizaynı ve paralel işlem yapabilmesi için gerekli hafızanın yonga üzerinde olmasından kaynaklanmaktadır [Asano, 2009].

System Generator, Xilinx firması tarafından MATLAB/Simulink grafik editörü için sağlanan bir araçtır. Böylelikle simülasyon modellerine Xilinx spesifik bloklar eklenebilmektedir. System Generatorun kullanılmasıyla oluşturulan modelde kullanılan Xilinx spesifik bloklar ile program otomatik olarak istenilen FPGA için oluşturulabilmektedir. Böylelikle, karmaşık olan tasarım metodolojileri ve donanım programlama dili kullanılmadan, FPGA için gerekli konfigürasyon dosyası görsel olarak oluşturulabilmektedir.

Kosimülasyon, simülasyon işleminde oluşturulan algoritmanın donanım içerisinde çalıştırılmasına denmektedir. Dolayısıyla algoritmanın donanım içerisinde çalışması doğrulanmakta ve simülasyon hızı da artmaktadır. System Generator Xilinx firmasına ait FPGA'ların kosimülasyon seçeneğini de sağlamaktadır.

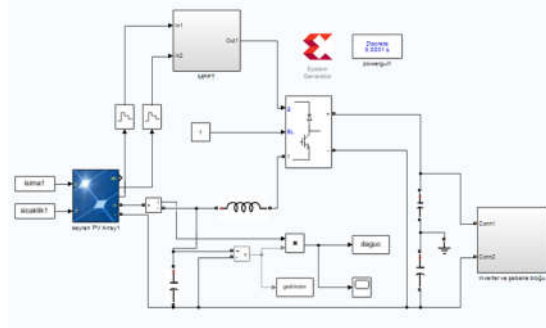
### Uygulama

Şebeke bağlı FV sistemleri müstakil çalışanlara göre daha avantajlıdır. Çünkü bu tip sistemler yükün miktarına göre şebekeye enerji verir veya alırlar [Atiq, 2016]

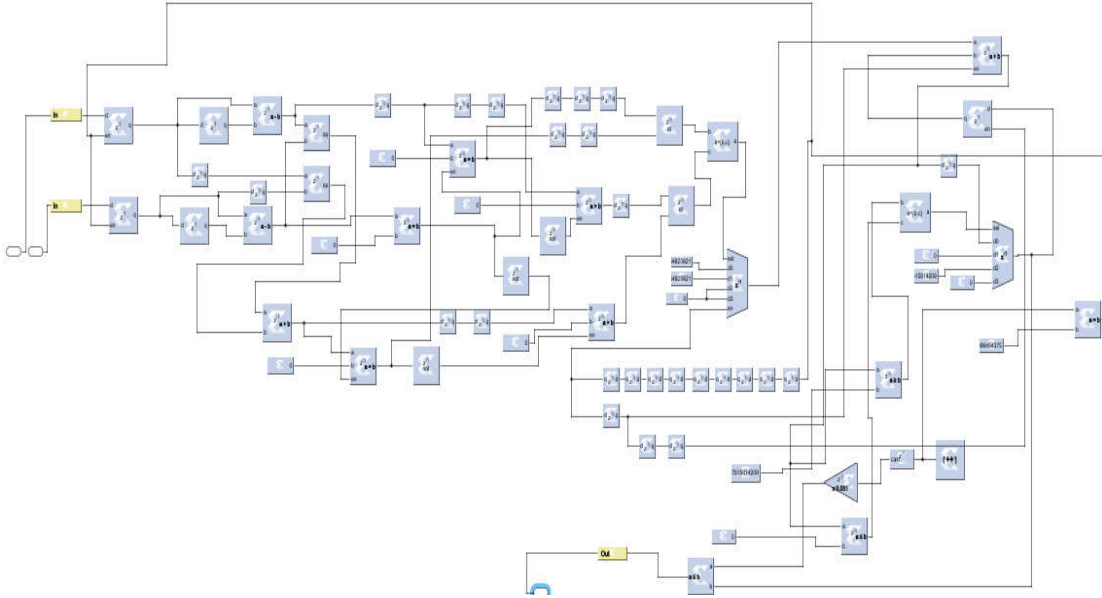
Bu çalışmada 10 kW gücünde şebeke bağlı bir FV sistem MATLAB/Simulink grafik editöründe modellenmiştir. Kullanılan MGNİ algoritması tamamıyla System Generator aracı ile sağlanan Xilinx spesifik bloklarla oluşturulmuştur. Bununla birlikte referans olarak Dicle Üniversitesi bünyesinde kurulmuş olan şebekeye bağlı 250 kW güce sahip FV enerjisi sisteminin 10 kW'lık inverterinin verileri kullanılmış ve bu inverterin ürettiği DC güç ile benzetim modelinde FV panel dizisinden elde edilen DC güç karşılaştırılmıştır.

Dicle Üniversitesi FV enerji sisteminde kullanılan FV paneller Viessman Vitovolt 300 P250 PSEB modelidir [Viessman, 2014]. Bu panellerin maksimum güçleri 250W, maksimum güç noktasındaki çıkış gerilimi ise 30,34V'tur. Şebeke gerilimine yakın bir çıkış gerilimi elde etmek için gerekli DC link gerilimi, bu panellerin 20 tanesi seri şekilde bağlanarak elde edilmiştir.

MATLAB/Simulink benzetim programında oluşturulan model Şekil 4'te verilmiştir.



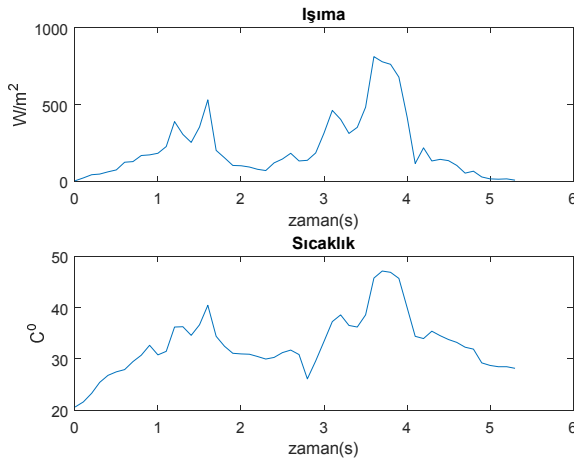
Şekil 4. Simülasyon modeli



Şekil 5. Oluşturulan artan iletkenlik algoritması

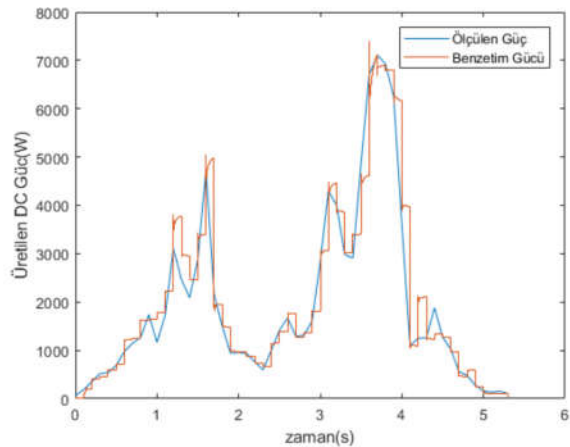
Şekil 5’de Xilinx spesifik bloklarla oluşturulan şebeke elemanları ve artan iletkenlik algoritmasıyla ilgili bileşenler blok halinde gösterilmiştir. Burada DC-DC çevirici için anahtarlama frekansı 10 KHz seçilmiş ve PWM işaretinin artım oranı 0.01 olarak seçilmiştir.

D.Ü. FV enerji sisteminde, gerilim, akım, güç gibi veriler 15 dakika arayla kaydedilmektedir. Yapılan çalışmada hava koşullarının çok fazla değişkenlik gösterdiği bir gün seçilmiş ve 13.5 saatlik veriler, her bir verinin arasındaki zaman aralığı 0.1s olacak şekilde düzenlenmiş ve modele uygulanmıştır. Modele uygulanan ışımaya ve sıcaklık verileri Şekil 6’da gösterilmektedir.



Şekil 6. Modelde kullanılan ışımaya ve sıcaklık eğrileri

Şekil 6’da verilen ışımaya ve sıcaklık verileriyle model 5.3 s çalıştırılmıştır. Bu süre FV panellerin günlük enerji üretim süresine karşılık düşmektedir. Modelden elde edilen FV panel dizisinin ürettiği güç ve ölçülen DC güç Şekil 7’de gösterilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi simülasyon sonucu elde edilen DC güç, ölçülen DC gücü takip etmektedir.



Şekil 7. Simüle ve ölçülmüş FV panel çıkışı DC Gücü

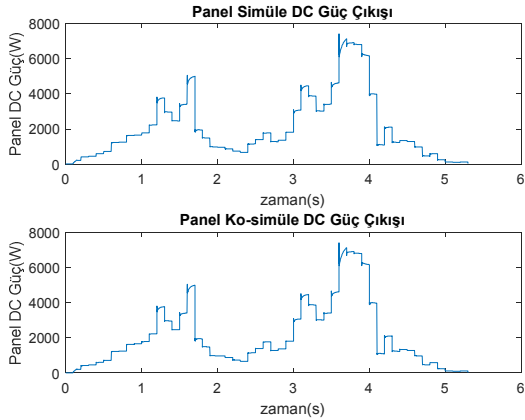
Daha sonra oluşturulan modelin kosimülasyonu BASYS3 FPGA deneme kartı kullanılarak yapılmıştır [Digilent, 2019]. BASYS3 deneme kartında 32280 lojik hücreye ve 150 MHz hızına sahip Xilinx Artix7 FPGA’sı mevcut olup, bu

kart Vivado Design Suite programına göre tasarlanmış, ucuz ve başlangıç seviyesi bir uygulama kartıdır. BASYS3 FPGA deneme kartı Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 8. BASYS3 FPGA deneme kartı

Oluşturulan MGNI algoritmasının donanımda çalışmasını doğrulamak için modelin ko-simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon ve ko-simülasyon sonuçları Şekilde 9’da verilmiştir. Bu şekilde verilen simülasyon ve ko-simülasyon değerleri birebir aynı çıkmıştır. Bu da bu donanımın pratik olacağını göstermektedir.



Şekil 9. Simülasyon ve ko-simülasyon DC güç çıkışları

## Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, Maksimum Güç Nokta izleyicisi algoritmalarından sıklıkla kullanılan artan iletkenlik algoritmasının FPGA ile gerçekleştirilmesi, simüle ve kosimüle edilmiştir. Ayrıca uygulamada olan bir FV enerji sisteminin verileri ile model çalıştırılmış ve daha sonra bu sistemin DC güç çıkış verileri ile modelin DC

güç çıkışı karşılaştırılmıştır. Işıma ve sıcaklık verileri Dicle Üniversitesi bünyesinde kurulu olan 250 kW güce sahip FV güneş santralinden elde edilmiştir. Simülasyon sonuçlarının gerçek verilerle uyduğu tespit edilmiştir. Böylelikle yapılan simülasyonun doğruluğu teyit edilmiştir. Bu durum simülasyon modelinin güvenli olarak kullanılabilceğini ortaya koymaktadır. Ko-simülasyon modelinde FPGA’da oluşturulan algoritmalar donanımsal olarak gerçekleştirildiği için işlem süresi çok daha azdır.

Ardışıl gerilim ve akım verileri arasındaki süre 0.1s olarak seçilmiş ve modele uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar uygulama sonuçları ile uyumludur.

Modelin ko-simülasyon sonuçları da ilgili donanımın pratik olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda, oluşturulan MGNI algoritmasının ve ilgili donanımın kullanılacağı bir inverterin tasarlanması planlanmaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan Vivado Design Suite programının system edition versiyonunun lisansını ve BASYS 3 FPGA deneme kartını hibe eden Xilinx firmasına teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Asano, S., Maruyama, T., & Yamaguchi, Y. (2009, August). Performance comparison of FPGA, GPU and CPU in image processing. In *Field programmable logic and applications, 2009. fpl 2009. international conference on* (pp. 126-131). IEEE.
- Atiq, J., & Soori, P. K. (2016). Modelling of a Grid Connected Solar PV System Using MATLAB/Simulink. *International Journal of Simulation--Systems, Science & Technology*, 17(41).
- Esrām, T., & Chapman, P. L. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE*

- Transactions on energy conversion*, 22(2), 439-449.
- Faraji, R., Rouholamini, A., Naji, H. R., Fadaeinedjad, R., & Chavoshian, M. R. (2014). FPGA-based real time incremental conductance maximum power point tracking controller for photovoltaic systems. *IET Power Electronics*, 7(5), 1294-1304.
- Faranda, R., & Leva, S. (2008). Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems. *WSEAS transactions on power systems*, 3(6), 446-455.
- Hassell, T. J., Weaver, W. W., & Oliveira, A. M. (2013, October). Using Matlab's Simscape modeling environment as a simulation tool in power electronics and electrical machines courses. In *Frontiers in Education Conference, 2013 IEEE* (pp. 477-483).
- Ilyas, A., Ayyub, M., Khan, M. R., Jain, A., & Husain, M. A. (2018). Realization of incremental conductance the MPPT algorithm for a solar photovoltaic system. *International Journal of Ambient Energy*, 39(8), 873-884.
- Liu, F., Kang, Y., Zhang, Y., & Duan, S. (2008, June). Comparison of P&O and hill climbing MPPT methods for grid-connected PV converter. In *Industrial Electronics and Applications, 2008. ICIEA 2008. 3rd IEEE Conference on* (pp. 804-807). IEEE.
- Monmasson, E., & Cirstea, M. N. (2007). FPGA design methodology for industrial control systems—A review. *IEEE transactions on industrial electronics*, 54(4), 1824-1842.
- Rashid, M. H., Güç elektroniği, yarı iletken elemanlar, devreler ve uygulamaları, 4. *Basımdan Çeviri*, 2015.
- Rekioua, D., & Matagne, E. (2012). *Optimization of photovoltaic power systems: modelisation, simulation and control*. Springer Science & Business
- Singh, B., Dwivedi, S., Hussain, I., & Verma, A. K. (2014, December). Grid integration of solar PV power generating system using QPLL based control algorithm. In *Power India International Conference (PIICON), 2014 6th IEEE* (pp. 1-6). IEEE.

#### İnternet Kaynakları

- [https://www.xilinx.com/support/documentation/sw\\_manuals/xilinx2017\\_2/ug897-vivado-sysgen-user.pdf](https://www.xilinx.com/support/documentation/sw_manuals/xilinx2017_2/ug897-vivado-sysgen-user.pdf)
- <https://www.solartechnik-amm.de/Downloads/viessmann5.pdf>
- <https://reference.digilentinc.com/basys3/refman>

## **Implementing FPGA-Based Incremental Conductance Algorithm Used in Maximum Power Point Tracking (MPPT)**

### **Extended Abstract**

*In this study it is aimed to co-simulate FPGA-based incremental conductance algorithm by using a cheaper FPGA training card for Maximum Power Point Tracking for PV system. For this aim data obtained from an implemented PV system, as 250 kW power rated, in Dicle University, Diyarbakır Turkey.*

*Ssystem generator from Xilinx firm is a tool for programming Xilinx FPGAs in MATLAB/Simulink graphic editor visually. So much expert in programming as VHDL, or design methodologies isn't required.*

*Grid-connected PV systems have some advantages as energy continuity for the loads, and energy sale when PV system produce much electric energy than needed.*

*In the study a grid-connected 10 kW PV system model is implemented in MATLAB/Simulink. PV panel array parameters are chosen with regarding the reel values in the system mentioned above.*

*In the model, incremental algorithm is used for MPPT. Because, incremental algorithm is more efficient than hill-climbing method, and appropriate for hardware implementations. Also, this algorithm is entirely formed by using Xilinx specific blocks, provided by system generator.*

*First of all, a day which has a variable weather condition is chosen to test the performance of the implemented incremental conductance algorithm. The reel system collects the data by 15 minutes' intervals. The irradiance, and temperature data which has 13.5 hours long is sampled by 0.1s. Then this data is applied to the simulation model. It is seen that obtained results belongs to DC link power of PV array are*

*sufficient when it is compared with the reel values.*

*After all the model is co-simulated by using BASYS3 FPGA training card, which is cheaper, and from the results it is seen that simulation, and co-simulation results are same. This means that in a practical application this hardware can be used.*

*In further studies it is considered to make a practical inverter, which includes BASYS3 FPGA training board, and implemented incremental conductance algorithm in this study.*

**Keywords:** *Basys3, co-simulation incremental conductance algorithm, mppt*



## Kömür yakıcılarında alev görüntüsü temelli çoklu lineer regresyon analizi

**Cem ONAT**

Fırat Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu, Uçak Gövde-Motor Bölümü, Elazığ  
[cem.onat@inonu.edu.tr](mailto:cem.onat@inonu.edu.tr) ORCID: 0000-0002-2886-0470

**Mahmut DAŞKIN\***

İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya  
[mahmut.daskin@inonu.edu.tr](mailto:mahmut.daskin@inonu.edu.tr) ORCID: 0000-0001-7777-1821, Tel: (422) 377 4708

**Mehmet Emin TAĞLUK**

İnönü Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Malatya, Tel: (422) 377 4825  
[mehmet.tagluk@inonu.edu.tr](mailto:mehmet.tagluk@inonu.edu.tr) ORCID: 0000-0001-7789-6376

**Muhammed Fatih TALU**

İnönü Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Tel: (422) 377 4764  
[fatih.talu@inonu.edu.tr](mailto:fatih.talu@inonu.edu.tr) ORCID: 0000-0003-1166-8404

**İsmail YÜKSEK**

Antalya Bilim Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Antalya  
[yukseki@yildiz.edu.tr](mailto:yukseki@yildiz.edu.tr) ORCID: 0000-0003-1693-8725

Geliş: 14.02.2018, Kabul Tarihi: 12.04.2018

### Öz

*Bu çalışmada, bir CCD (Charge Coupled Device) kamera ile donatılmış küçük ölçekli bir fındık kömür yakıcısında alev görüntüsü ile hava fazlalık katsayısı arasındaki ilişki incelenmiştir. İncelemede alev görüntüsünden anlık olarak elde edilen farklı sayısal veriler filtre edilip baca gazı sıcaklığı ile birlikte değerlendirilerek eş zamanlı olarak baca gazı analiz cihazı ile elde edilen hava fazlalık katsayısı ile karşılaştırılmıştır. İlk olarak, alev görüntüsünden elde edilen farklı bilgiler alçak geçiren bir filtreye filtrelenmiştir. Bu şekilde yüksek frekans dinamiklerinden arındırılmış alev görüntüsü parametrelerinin değerlendirilmesi matris yaklaşımı çoklu lineer regresyon analiziyle gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, alev görüntüsünden anlık çekilen görüntü matrisi iz değerinin diğer matris parametrelerine göre daha yüksek bir doğruluk sağladığı görülmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** Kömür Yakıcıları; Alev Görüntüsü Özellikleri; Görüntü İşleme; Hava fazlalık katsayısı; Kömür yakıcısı kontrolü.

\* Yazışmaların yapılacağı yazar



## Giriş

Kömür yakıcılarında yanma veriminin iyileştirilmesi konusu, artan yakıt fiyatları ve artan çevresel kaygılar yüzünden, her geçen gün mühendisleri daha iyi tasarımlar yapma noktasında motive etmektedir (Onat 2014; Onat vd., 2015). Homojen olmayan, kompakt bir doğal kaynak olan kömürlerin (Karaman, 2014) yanma prosesleri oldukça karmaşıktır (Wojcik vd., 2012; Sujatha vd., 2012). Kömürü oluşturan elementler ve uçucu madde bileşiminin aynı madenden elde edilen kömürlerde bile farklılıklar arz etmesi, kömür yakma sistemlerinin modellenmesi ve kontrolcü tasarımı konularını güç kılmaktadır. Tasarım ve işletme koşullarının aynı olmasına rağmen kazanların, uzun bir süre çalıştırdıktan sonra genellikle farklı yanma karakteristikleri sergilemeleri de konunun zorluk derecesini artırmaktadır (Yang vd., 2014). Yanma prosesindeki bu karmaşıklık, kömür yakma sistemlerinin modellenmesi ve kontrolü konusunu araştırmacıların üzerinde çalıştığı güncel bir konu kılmaktadır ve dolayısıyla da bu konuda literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar baca gazı analizi temeline dayalı modelleme, optimizasyon ve kontrol tasarımı çalışmaları (Astrom ve Eklund, 1972; Kocaarslan, 1993; Kouprianov vd., 1999; Hao vd., 2001; Donne vd., 2001; Rees ve Lu, 2002; Hao vd., 2003; Zheng ve Yao, 2008; Lee ve Jou, 2011; Liu vd., 2012) ve yanma odasının gözlenmesi temeline dayalı modelleme ve kontrol tasarımı çalışmaları (Burkardt, 1992; Zhou vd., 1996; Yamaguchi vd., 1997; Linovd, 1998; Docquer ve Candel, 2002; Lu vd., 2004; Koshevd, 2005; Yu, 2006; Huang vd., 2010; Chen vd., 2010; Chen vd., 2012; Chen ve Chang, 2013; Toth vd., 2014; Liu vd., 2016; Talu vd., 2017) şeklinde iki kategoride ele alınabilir. Baca gazı analizi ile oluşturulacak kapalı çevrim kontrol sistemlerinde en büyük problem kaçınılmaz olarak belirli bir zaman gecikmesi değeriyle karşılaşılması ve bunun verime kötü yönde yansımalarıdır. Sistem zaman gecikmeli olduğu için, bozucu etkiler sisteme etki ettiğinde kapalı çevrim kontrol sistemi doğası gereği geç cevap vermek suretiyle kötü bir bozucu reddi performansı sergilemektedir (Onat vd., 2012; Onat, 2013). Pratik değerlendirmeler çerçevesinde küçük ölçekli stokerli kömür

yakma sistemlerinde karşılaşılan majör bozucu girişler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Değişen güç gereksinimiyle birlikte sistemin farklı modlarda çalışabilmesi.
- Emilen hava kalitesindeki değişimler.
- Yakıtın ısı değerindeki değişimler.
- Yakıt nemine bağlı yüklemesinde oluşan tıkanmalar.
- Emilen hava sıcaklığındaki değişimler.

Buna karşın alev görüntüleri yanma odasının anlık durumunu derhal yansıtabilir (Yamaguchi ve Grattan, 1997). Son yıllarda, kazanlarda yanma problemlerine uygulanan görüntü işleme temeline dayalı analiz ve tasarımlarına giderek artan bir ilgi vardır. Yamaguchi vd. (1997) farklı yakıt hava oranlarında spektral karakteristiklerin farklılıklarını keşfetmek için fiber optik sensörler kullanarak alevin emisyon yoğunluğunu analiz etmişlerdir (Burkardt, 1992). (Docquier ve Candel, 2002; Kohse vd., 2005; Toth vd., 2014) çalışmaları bu konuda güzel bir genel değerlendirme sunmaktadır. Ultraviyole ve kızılötesi ışınımlı bazı alev detektörleri yanma rejimini teşhis etmek için kullanılmaktadır fakat bunlar alevin sadece bir kısmını kapsarlar ve böylece yeterli alev bilgisi sağlayamazlar. Bununla birlikte, lazerli yanma odası gözleme sistemleri de yanma sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu sistemler yanma dinamiğinin parametrelerini kantitatif olarak ortaya koyabilmelerine karşın karmaşıklıkları ve yüksek maliyetleri endüstride yaygınlaşmalarına engel oluşturmaktadır (Lino vd., 1998; Lu vd., 2004). Lino vd. (1998), alevin dinamik davranışı belirlemek için görüntü işleme teknikleri kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır (Huang vd., 1999). Söz konusu çalışmada alevin yüksek parlaklıktaki bölgesinin zamanla değişimi gözlenmiştir. Alev görüntülerinde yanmanın kalitesini ortaya koyan bol miktarda önemli bilginin mevcudiyetini gösteren bir başka çalışma da (Huang vd., 2010)'tir. Yukarıda bahsedilen çalışmalarda kullanılan yakma sistemleri yakıtlarıyla birlikte değerlendirildiğinde, kömür yakıtlı kazanlar ile yapılan çalışmaların göreceli olarak seyrek olduğu değerlendirilmektedir. Huang vd. (2010), toz kömür yakıtlı bir kazan için radyant

enerji sinyalli bir kontrol sistemi önermiştir (Zhou vd., 1996; Chen vd., 2010; Chen vd., 2012; Liu vd., 2016). İlk defa Zhou vd. tarafından ortaya konan radyant enerji sinyali kavramı alev görüntülerinin işlenmesi ve spektral analiz konularını kapsamaktadır (Chen vd., 2010). Ancak (Chen vd., 2010) ve (Chen vd., 2012)' de önerilen kapalı çevrim kontrol sistemleri aynı zamanda bir oksijen algılayıcısına da ihtiyaç duymaktadır. Radyant enerji sinyaline bulaşmadan alev görüntülerinin işlenip doğrudan kapalı çevrim kontrol sisteminde değerlendirilmesi konusunda Chen vd.'nin yaptığı çalışmalar oldukça güncel ve kıymetlidir (Yu, 2006; Chen ve Chang, 2013). Chen vd. bu çalışmalarında esas bileşen analizi (PCA- Principle Component Analyze) yöntemini kullanmışlardır. PCA verileri daha küçük boyutlarda temsil edilmesini sağlayan istatistiksel bir boyut indirgeme tekniğidir. (Chen ve Chang, 2013)'da 658x492x3 boyutunda 300 renk görüntüsü PCA'da değerlendirilerek, iki bileşen baskın bileşen olarak sınıflandırılmış ve böylece görüntü kümesi sadece 300x2 lik özellik vektörüyle ifade edilmiştir. PCA ile elde edilen temel bileşenlerin her ikisi de tasarlanan kontrol algoritmasında değerlendirilmiştir. Bir başka ifade ile ideal yanmaya karşılık gelen iki temel bileşen değerlerinin ikisi de referans giriş olarak kullanılmıştır. (Yu, 2006)'de ise tasarlanan kontrol sistemi PCA ile elde edilen temel bileşenlere ek olarak baca gazındaki oksijen miktarı bilgisine de ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca (Yu, 2006)'de önerilen kapalı çevrim sistemde iki adet kontrol girişi vardır. Sisteme giren taze havanın yanı sıra sisteme giren yakıt da kontrolcü tarafından belirlenmektedir. Son zamanlarda Talu vd. (Talu vd., 2017) alev görüntüsünden eş oluşum matrisleri yöntemiyle görüntü öz niteliklerini çekip bir yapay sinir ağı içinde değerlendirerek hava fazlalık katsayısını tahmin etmişlerdir. Söz konusu yöntemin çok sayıda girişe ihtiyaç duyması ve tahmin edilen hava fazlalık katsayısının oldukça gürültülü olması yöntemin uygulanabilirliğini tehdit etmektedir.

Yukarıda anılan çalışmalarda gerek yanma veriminin tahmini ve gerekse kontrol tasarımı

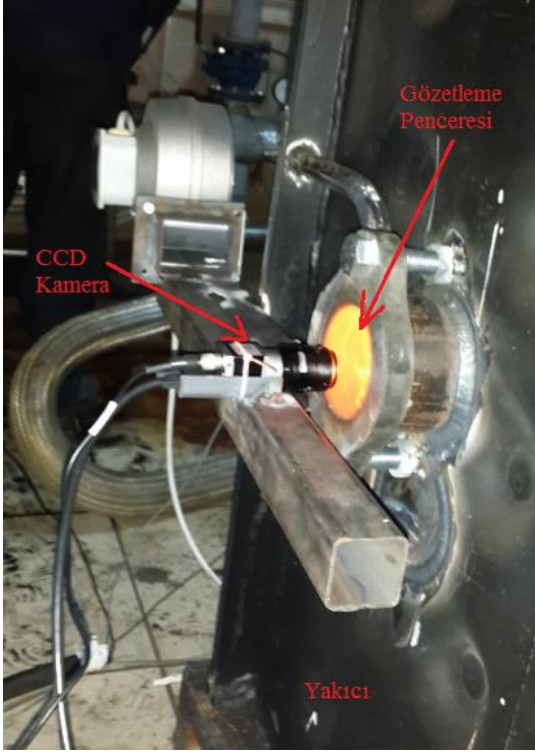
sadece alev görüntüsü temelli gerçekleştirilmiştir. Oysa piyasadan kolaylıkla temini mümkün ölçüm aletleriyle baca gazı sıcaklığı ekonomik olarak ölçülebilir ve bu ölçümler alev görüntüsünden alınan sayısal bilgileri tamamlayabilir. Bu çalışmada, hava fazlalık katsayısı ile alev görüntüsünden alınan farklı anlık bilgiler filtre edilerek yüksek frekans dinamiklerinden arındırıldıktan sonra ayrı ayrı baca gazı sıcaklığı bilgisiyyle birlikte kullanılarak matris yaklaşımı çoklu lineer regresyon analizine tabi tutulmuştur. Analizde karşılaştırılan matris bilgileri; bir normu, iki normu, sonsuz normu, Frobenius normu, normalize edilmiş piksellerin toplamı, matrisin izi, matrisin rankı, eşik değeri 30'dan büyük olan piksel toplamı, en küçük öz-değer, en küçük 10 öz-değerin toplamı ve tüm öz-değerlerin toplamıdır. Regresyon analizi sonuçlarına göre, yüksek doğruluk için baca gazı sıcaklığı bilgisini en iyi tamamlayan görüntü bilgisinin matris izi olduğu görülmüştür.

## Deney Sistemi

Çalışmada kullanılan deney sistemi Şekil 1'de gösterilmiştir. Sistem otomatik fındık kömür yüklemeli bir kömür yakıcısı olup yanma odası gözetlene bilmektedir. Dairesel formdaki gözetleme penceresinin çapı 12 cm'dir.

## Veri Toplama

Kömür yakıcısının yanma odası saniyede 14 çerçeve resim çekebilen bir CCD kamera (Aptina MT9P031 CMOS sensörlü Basler acA2500-14gc GigE (Basler, 2015)) aracılığıyla görüntülenmiştir. CCD kameradan anlık elde edilen alev görüntülerine karşılık baca gazı sıcaklığı ( $T_{baca}$ ) ve hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) bilgisi Testo'nun baca gazı analiz cihazından eş zamanlı olarak kayıtlanmıştır. Sistemden Elde edilen veriler işlenip değerlendirmek için kişisel bilgisayara aktarılmıştır.



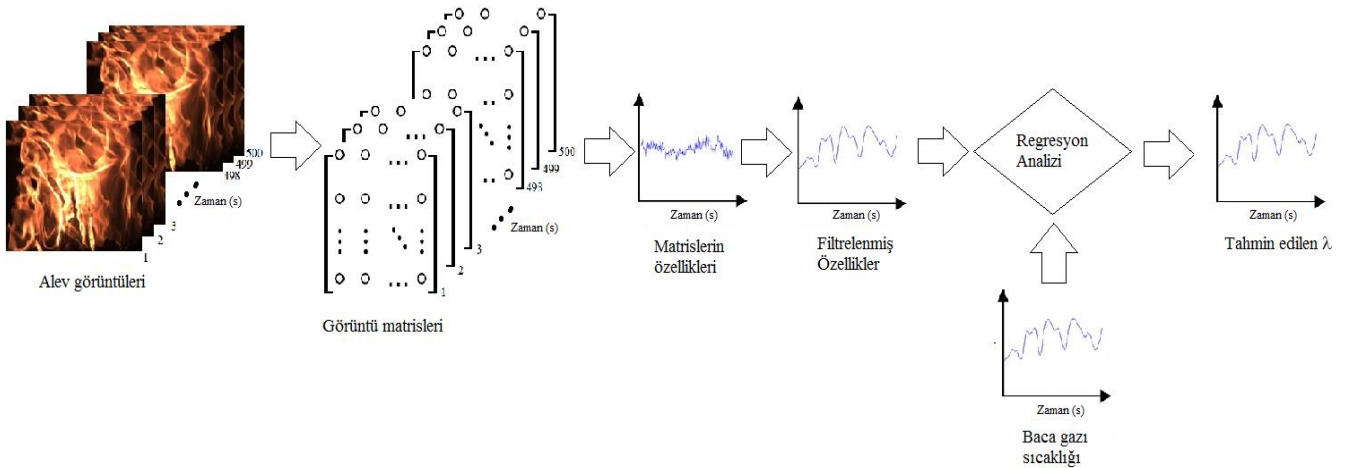
Şekil 1. Deney sistemi.

## Veri İşleme

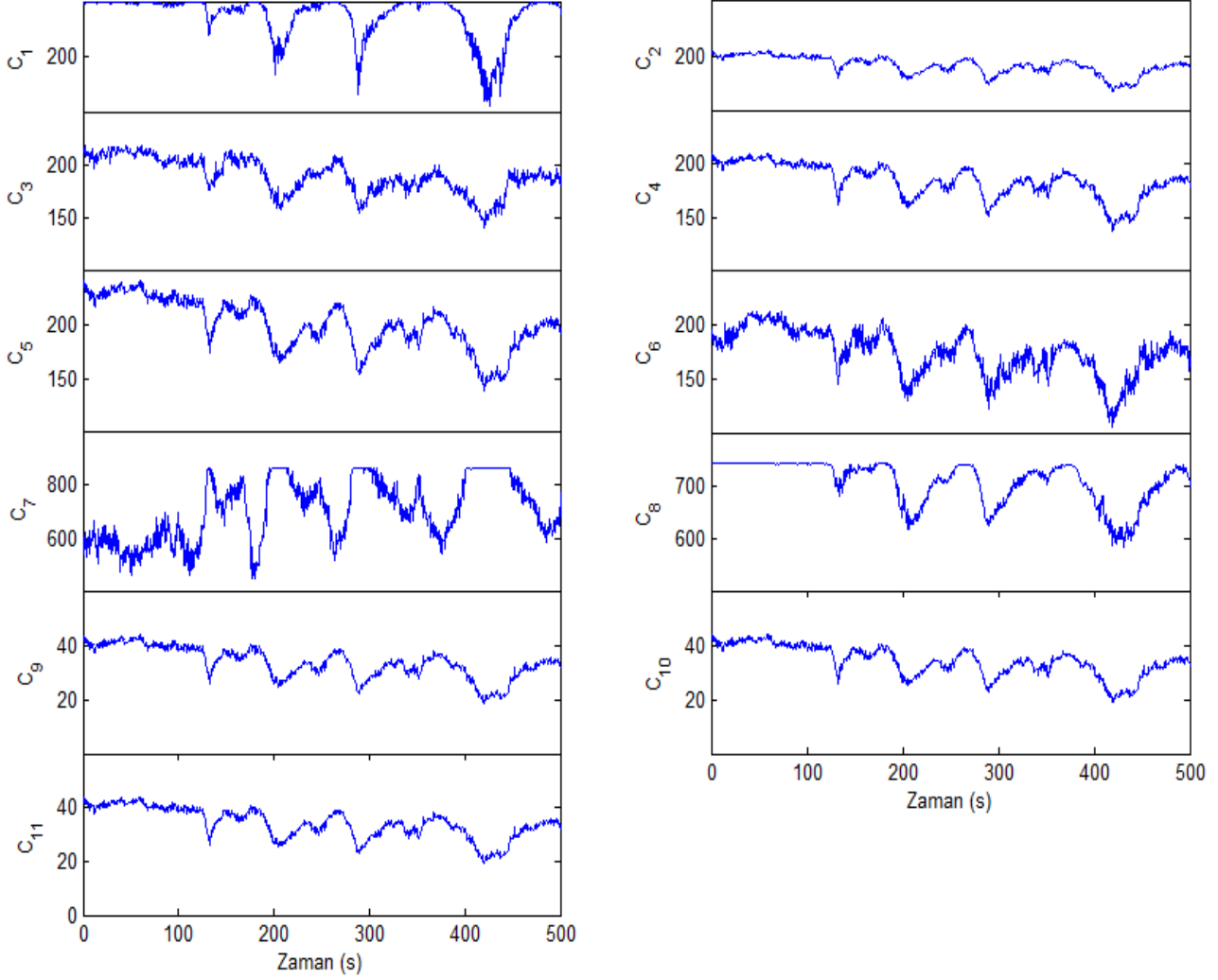
Veri işleme akış şeması Şekil 2’de verilmiştir. Buna göre CCD kameradan elde edilen alev görüntülerinden elde edilen özellikler Denklem (1)’de verilen alçak geçiren filtre ile filtreledikten sonra baca gazı sıcaklığı bilgisiyle birlikte regresyon analizine tabi tutulmuştur.

$$F(s) = \frac{1}{28s^2 + 10s + 1} \quad (1)$$

Şekil 3’te CCD kameradan alınan görüntülerden elde edilen görüntü matrisinin bir normu, iki normu, sonsuz normu, Frobenius normu, normalize edilmiş piksellerin toplamı, matrisin izi, matrisin rankı, eşik değeri 30’dan büyük olan piksel toplamı, en küçük öz-değer, en küçük 10 öz-değerin toplamı ve tüm öz-değerlerin toplamı gibi özellikleri verilmiştir. Kameradan alınan bu veriler sırasıyla  $C_1, C_2, \dots, C_{11}$  şeklinde adlandırılmıştır. Verilerdeki yüksek frekans gürültülerinin elemine edilmesi için Denklem (1) de transfer fonksiyonu verilen  $F(s)$  filtresi ile filtre edildikten sonra (0 1) aralığında normalize edilmiştir. Filtrelenmiş veriler sırasıyla  $C_{1f}, C_{2f}, \dots, C_{11f}$  Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 2. Veri işleme akış şeması



Şekil 3. Ham alev görüntüsü bilgileri.

### Matris Yaklaşımıyla Regresyon Analizi

Regresyon analizinde matrislerin kullanımı; hataların, regresyon katsayılarının ve regressör değişkenlerinin seviyelerini vektörel olarak sunduğundan daha kompakt bir yapı sunar (Wilson vd., 2004). Matris yaklaşımli model denklem 2’de verilmiştir.

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (2)$$

Denklem 2 matris notasyonu kullanılarak Denklem 3’deki gibi tekrar yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_{k+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

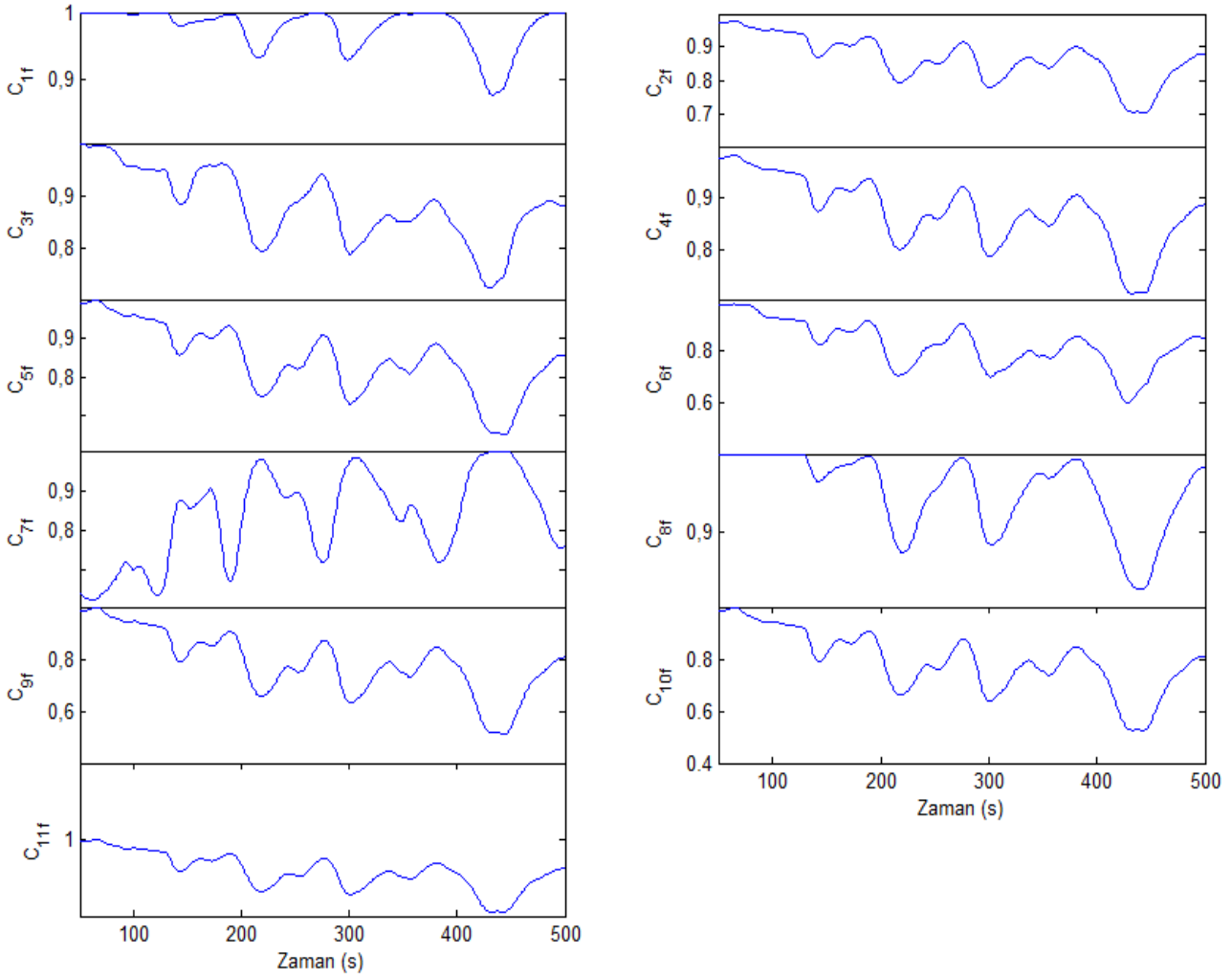
Dikkat edilirse  $Y$  modelin çıkışlarını içeren  $n \times 1$  boyutlu bir vektör,  $X$  regresyon değişkenlerini içeren  $n \times (k+1)$  boyutlu bir matris,  $\hat{\beta}$  en küçük kareler tahminci vektörü ve  $\varepsilon$  ise  $n \times 1$  boyutlu hataları içeren vektördür.

Matris yaklaşımli çoklu lineer regresyon analizinde ilk adım en küçük kareler tahminci vektörü  $\hat{\beta}$  ‘nın belirlenmesidir. Denklem 4’de verilen bağıntı ile  $\hat{\beta}$  tanımlanır (Wilson vd., 2004).

$$X^T X \hat{\beta} = X^T Y \quad (4)$$

Buradan  $\hat{\beta}$  denklem 5’teki gibi çekilir.

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (5)$$



Şekil 4. Filtre edilmiş alev görüntüsü bilgileri.

Bu çalışmada, otomatik yüklemeli kömür yakıcısının 500 saniyelik bir çalışma kesiti boyunca elde edilen veriler analiz edilmiştir. Baca gazı analiz cihazından saniyede bir ölçülen anlık hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) değerlerinin oluşturduğu set bağımlı değişken vektörü ( $\mathbf{Y}$ ) olarak atanmıştır. Bu yüzden  $\mathbf{Y}$  vektörünün satır sayısı  $n=500$ 'dür. Buna karşılık eş zamanlı biçimde CCD kameradan çekilen görüntülerden üretilen bilgi seti  $\mathbf{X}_1$  bağımsız değişken vektörü olarak ayrıca baca gazı sıcaklık verileri ile oluşturulmuş set de  $\mathbf{X}_2$  bağımsız değişken vektörü olarak atanmıştır. Dolayısıyla  $\mathbf{X}$  matrisinin boyutu  $n \times 3$ 'dür.  $\mathbf{X}$  matrisinin birinci sütununun 1'lerden oluştuğuna dikkat ediniz. Söz konusu biçimde oluşturulan deneysel veri setleriyle 11 farklı regresyon analizi yapılmıştır. Her bir regresyon analizinde farklı görüntü parametreleri kullanılmıştır ( $C_{1f}$ ,  $C_{2f}$ , ...,  $C_{11f}$ ).

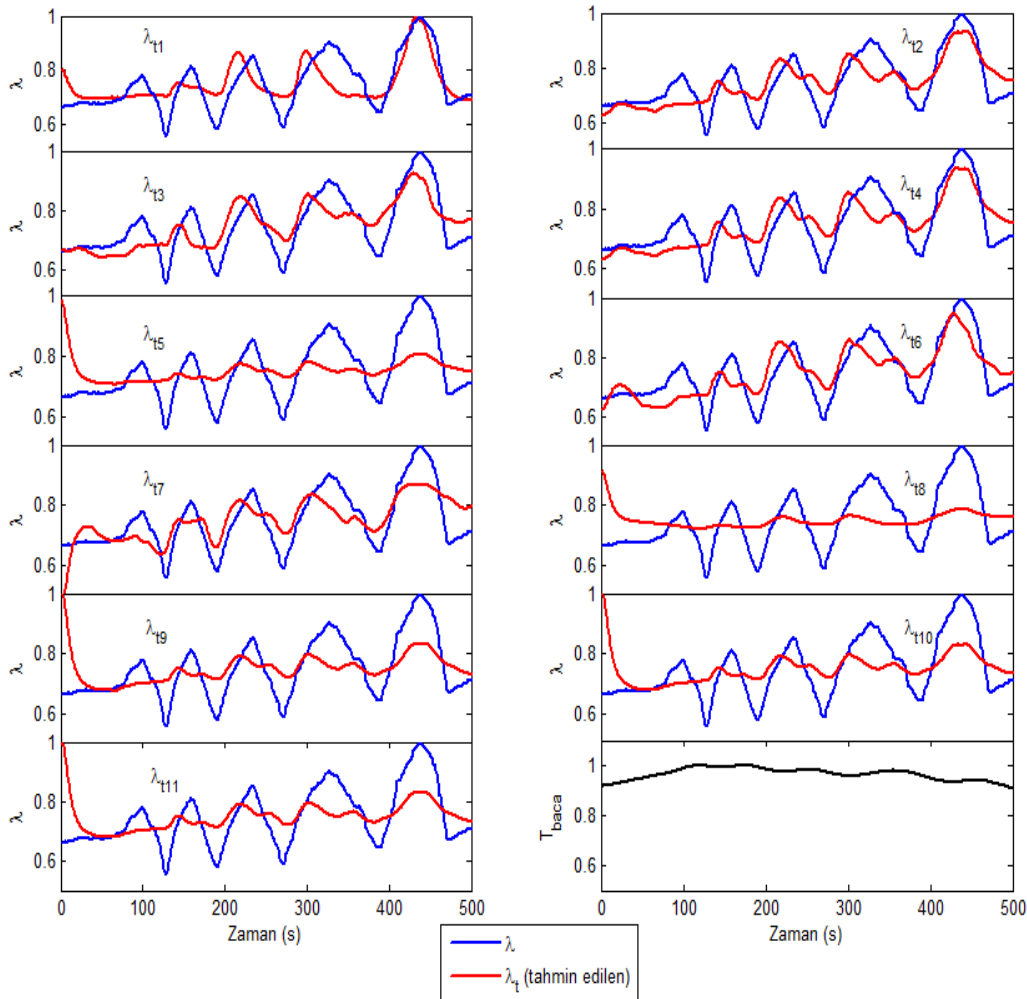
Örneğin, birinci analizde CCD kameradan saniyede bir alınan çerçeve görüntü kaynak matrisinin bir normu  $\mathbf{X}_1$  bağımsız değişken vektörü olarak kullanılmıştır. Alev görüntülerinin 11 farklı parametresi (özelliği) için yapılan regresyon analizlerinin sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Filtre edilmiş görüntü matrisi parametrelerine karşılık elde edilen  $\lambda$  tahmin bağıntıları sırasıyla  $\lambda_{11}$ ,  $\lambda_{12}$ , ...,  $\lambda_{111}$  şeklinde gösterilmiştir. Bu analize göre matris izi parametresi minimum hatayla  $\lambda$  ile ilintili olduğu görülmektedir. Norm esaslı görüntü özellik performansları beklendiği gibi birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Regresyon bağıntıları kullanılarak elde edilen tahmini  $\lambda$  değerleri her bir model için ayrı ayrı Şekil 5'de verilmiştir. Alev görüntüsünün filtre edilmiş iz değeri  $C_{6f}$ 'in hava fazlalık katsayısı  $\lambda$ 'yı diğer görüntü özelliklerine göre daha iyi bir şekilde takip

edebildiği görülmektedir. Şekil 5’de norm esaslı görüntü özelliklerinin birbirine yakın sonuçlar ürettiği görülmektedir. Söz konusu özelliklerin regresyon analizi sonuçlarında da birbirine yakın çıkması yapılan analiz tutarlılığına

işaret etmektedir. Örneğin, Şekil 5’de birbirine çok yakın gözükürken  $C_{2f}$  ve  $C_{4f}$  performanslarının regresyon sonuçları sırasıyla %13.53 ve %13.58’dir.

Tablo 1. Regresyon analizi sonuçları.

Filtre edilmiş değişkenler	Sembol	Regresyon bağıntısı	Maksimum hata
Bir normu	$C_{1f}$	$\lambda_{t1}=2.9700-2.4510*C_{1f}+0.1835*T_{baca}$	% 16.74
İki normu	$C_{2f}$	$\lambda_{t2}=1.7963 -1.0272*C_{2f} -0.1535*T_{baca}$	% 13.53
Sonsuz normu	$C_{3f}$	$\lambda_{t3}=1.8350 -1.0177 * C_{3f}-0.1858*T_{baca}$	% 13.62
Frobenius normu	$C_{4f}$	$\lambda_{t4}=1.8429 -1.0573* C_{4f}-0.1668*T_{baca}$	% 13.58
Normalize edilmiş piksellerin toplamı	$C_{5f}$	$\lambda_{t5}=1.0876 -0.2709* C_{5f}-0.1168*T_{baca}$	% 31.83
<b>Matrisin izi</b>	<b><math>C_{6f}</math></b>	<b><math>\lambda_{t6}=1.6353 -0.8118*C_{6f} -0.2171*T_{baca}</math></b>	<b>%11.69</b>
Matrisin rankı	$C_{7f}$	$\lambda_{t7}=1.5122+0.4354*C_{7f}-1.1531*T_{baca}$	% 20.81
Eşik değeri 30’dan büyük olan piksel toplamı	$C_{8f}$	$\lambda_{t8}=1.3348 -0.2205*C_{8f}-0.3930*T_{baca}$	% 24.98
En küçük öz-değer	$C_{9f}$	$\lambda_{t9}=0.8519 -0.3284*C_{9f}+0.1583*T_{baca}$	% 33.51
En küçük 10 öz-değerin toplamı	$C_{10f}$	$\lambda_{t10}=0.8795-0.3240*C_{10f}+0.1278*T_{baca}$	% 33.48
Tüm öz-değerlerin toplamı	$C_{11f}$	$\lambda_{t11}=0.8836-0.3230* C_{11f}+0.1231*T_{baca}$	% 33.45

Şekil 5. Regresyon modeliyle tahmin edilen  $\lambda$  değerleri.

## Sonuç

Bu çalışmada bir CCD kamera aracılığıyla yanma odası görüntülenen otomatik yüklemeli bir kömür yakıcısının hava fazlalık katsayısı ile alev görüntülerinden filtrelenmiş bir şekilde elde edilen 11 farklı görüntü parametresi baca gazı sıcaklığı ile birlikte matris yaklaşımı regresyon analizine tabi tutulmuştur. Bu şekilde elde edilen regresyon modellerinin doğrulukları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Alev görüntüsünün matris izi değerinin diğer görüntü parametrelerine göre daha iyi bir sonuç sergilediği görülmüştür. Bununla birlikte söz konusu iki sistem değişkeninin giriş teşkil edileceği yapay sinir ağı modelleriyle yüksek doğruluklara ulaşılabilir.

## Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK (Proje numarası: 117M121) ve MİMSAN AŞ tarafından desteklenmiştir. Çalışmamıza verdikleri destek için teşekkür ederiz.

Hakemler bu yayın hakkında kritik değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Değerlendirmeleri için hakemlere teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Astrom, K. J., Eklund, K., (1972). A simplified non-linear model of a drumboiler-turbine unit, *Int J Control*, 16, 145–9.
- Burkardt, H., (1992). Image analysis and control of combustion processes, The International Seminar on Imaging in Transport Processes, Athen.
- Chen, L., Xue, H., Sun, B., Zhou, Z., (2010). H<sub>2</sub>O Robust control of Combustion Based on the Radiant Energy Signal, Fourth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, 837-840.
- Chen, J., Chang, Y.H., Cheng, Y.C., Hsu, C.K., (2012). Design of image-based control loops for industrial combustion processes, *Applied Energy*, 94, 13–21.
- Chen, J., Chang, Y., (2013). Performance Design of Image-Oxygen Based Cascade Control Loops for Boiler Combustion Processes,

- Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52, 2368–2378
- Docquier, N., Candel, S., (2002). Combustion control and sensors: a review, *Prog Energy Combust Science*, 28, 107–50.
- Donne, M. S., Pike, A. W., Savry, R., (2001). Application of modern methods in power plant simulation and control, *IEE Comput Control J*, 12(2), 75–84.
- Hao, Z., Kefa, C., Jianbo, M., (2001). Combining neural network and genetic algorithms to optimize low NO<sub>x</sub> pulverized coal combustion, *Fuel*, 80, 2163–2169.
- Hao, Z., Qian, X., Cen, K., Fan, J., (2003). Optimizing pulverized coal combustion performance based on ANN and GA, *Fuel Processing Technology*, 85, 113–124.
- Basler Ace Camera, Basler. Çevrimiçi Erişim: <http://www.baslerweb.com/en/products/area-scan-amerax/ace/aca2500-14gc>. Erişim Tarihi: 13-Mart-2017.
- Huang, Y., Yan, Y., Lu, G., Reed, A., (1999). On-line flicker measurement of gaseous flames by image processing and spectral analysis, *Meas Sci Technol* 10, 726–33.
- Huang, B., Luo, Z., Zhou, H., (2010). Optimization of combustion based on introducing radiant energy signal in pulverized coal-fired boiler, *Fuel Processing Technology*, 91, 660–668.
- Karaman, İ., (2010). Soma linyitinin fiziksel aktivasyonu ve aktiflenmiş ürüne boyarmadde adsorpsiyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi.
- Kohse-Hoinghaus, K., Barlow, R. S., Alden, M., Wolfrum, J., (2005). Combustion at the focus: laser diagnostic and control, *Proc Combust Inst*, 30, 89–123.
- Kocaarslan, I., (1993). Application of adaptive control concept in a 750 MW coal fired power plant, 12th Triennial world congress, Sydney, Australia.
- Kouprianov, V., Chullabodhi, C., Kaewboonsong, W., (1999). Cost based optimization of excess air for fuel oil/gas-fired steam boilers, *RERIC Int Energy J*, 21(2), 83–91.
- Lu, G., Yan, Y., Colechin, M., (2004). A digital imaging based multi function a flame monitoring system, *IEEE Trans Inst Meas* 53(4), 1152–8.

- Lino, N., Tsuchino, F., Torii, S., Yano, T., (1998). Timewise variation of turbulent jet diffusion flame shape by means of image processing, *J Flow Visual Image Process*, 275–81.
- Lee, C. L., Jou, C. J. G., (2011). Saving fuel consumption and reducing pollution emissions for industrial furnace, *Fuel Process Technology* 92, 2335-2340.
- Liu, D. J., Yan, Wang, F., Huang, Q., Chi, Y., Cen, K., (2012). Experimental reconstructions of flame temperature distributions in laboratory-scale and large-scale pulverized-coal fired furnaces by inverse radiation analysis, *Fuel*, 93, 397–403.
- Liu, Z., Zheng, S., Luo, Z., Zhou, H., (2016). A new method for constructing radiative energy signal in a coal-fired boiler, *Applied Thermal Engineering*, 101, 446-454.
- Onat, C. Talu, M.F. Daskin, M. Mercimek, M., (2015). Otomatik Beslemeli Kömür Kazanlarında Alev Formu İle Yanma Verimi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, *Mühendis ve Makina*, 669, 70-79.
- Onat, C., (2014). WGC Based Robust and Gain Scheduling PI Controller Design for Condensing Boilers, *Advances in Mechanical Engineering*, 6, 1-13.
- Onat, C., (2013). A New Concept on PI Design for Time Delay Systems: Weighted Geometrical Center, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 9(4), 1539-1556.
- Onat, C., Hamamci, S. E., Obuz, S., (2012). A Practical PI Tuning Approach For Time Delay Systems, *Proceedings of the 10-th IFAC Workshop on Time Delay Systems The International Federation of Automatic Control Northeastern University*, 102-107.
- Rees, N. W., Lu, C. X., (2002). Some thoughts on the advanced control of electric power plants, *Trans. Inst. Meas. Control*, 24(2), 87–106.
- Sujatha, K., Venmathi, M., Pappa, N., (2012). Flame monitoring in power station boilers using image processing, *ICTACT Journal on Image and Video Processing*, 04, 427-434.
- Talu, M.F., Onat, C., Daskin, M., (2017). Prediction of Excess Air Factor in Automatic Feed Coal Burners by Processing of Flame Images, *Chinese Journal of Mechanical Engineering* 30 (3), 722-731.
- Toth P., Zhan, Z., Fu, Z., Palotas, A. B., Eddings, E. G., Ring, T. A., (2014). The potential of on-line optical flow measurement in the control and monitoring of pilot-scale oxy-coal flames, *Experiments in Fluids*, 55, 1727.
- Wilson, W., Geiger, L., Madden, S., Mecklin, C. J., and Dong, A. (2004). Multiple linear regression using a graphing calculator, *Journal of Chemical Education*, 81(6), 903–907.
- Wojcik, W., Gromazsek, K., Kotyra, A., Lawicki, T., (2012). Pulverized Coal Combustion Boiler Efficient Control, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 11b/2012, 316-319.
- Yamaguchi, T., Grattan, K. T. V., Uchiyama, H., Yamada, T., (1997). A practical fiber optic air-ratio sensor operating by flame color detection, *Rev Sci Instrum*, 68, 197–202.
- Yang, J. H., Kim, J.E. A., Hong, J., Kim, M., Ryu, C., Kim, Y., Park, H.Y., Baek, S. H., (2014). Effects of detailed operating parameters on combustion in two 500-MWe coal-fired boilers of an identical design, *Fuel*, 144, 145–156.
- Yu, C.C., (2006). *Autotuning of PID Controllers (2. Basım)*. London, UK, Springer-Verlag.
- Zheng, Z., Yao, M., (2008). Charge stratification to control HCCI: Experiments and CFD modeling with *n*-heptane as fuel, *Fuel*, 88, 354–365.
- Zhou, H., Lou, X., Yin, H., Deng, Y., Gu, Y., Sun, G., (1996). Modeling and simulink research of boiler combustion based on radiant energy, *Proceedings of the CSEE*, 16, 226-229.



## Multiple Linear Regression Analysis Based on Flame Image in Coal Burners

### Extended abstract

The increasing of the fuel prices and environmental concerns has motivated scientists to design the best systems to improve the fuel technologies which based on fossil fuels. The Combustion process of coals of heterogeneous compact fossil fuels is in fact very complex. The differences in the elements that forms coal and the variability in the volatile substance compounds even in those obtained from the same material makes difficult to model and design both the controller and coal firing systems. Even if the physical burning conditions are kept the same the operation of the boilers after a long time usually exhibit different Combustion characteristics which makes the subject even more difficult. These complication in the Combustion process makes the design and control of coal burning systems a challenging subject for researcher to work on. The immediate translation of instantaneous flame images in the burning chamber gives rise to analysis and design of fossil fuel burning systems based on image processing techniques.

In this study the correlation between air excess coefficient ( $\lambda$ ) and the characteristic parameters (features) of flame image captured from the burning chamber were analysed. The images were captured by a CCD camera (Aptina MT9P031 with CMOS sensors Basler acaA2500-14gc Gig E) mounted on a small sized automatic loading small cast coal burning system and  $\lambda$  was measured by a gas analysis device (Testo), and also the flue gas temperature ( $T_{baca}$ ) was synchronously measured every seconds. The observation window of the burning chamber was circular with 12 cm diameter and the CCD camera frame rate was 14 fps. The flame images were captured as a function of time for 500 seconds and were fed to a personal computer. Different data sets as the characteristic parameters or features of the flame were derived from these flame images and low pass filtered to remove high frequency fluctuations which could be considered as artefact noise. These parameters were then evaluated together with flue gas temperature values. The derived characteristic features were the norm, second norm, infinity norm, Frobenius norm, normalised sum of pixel values, matrix trace, matrix rank, sum of the pixel threshold value greater than

30, smallest eigen value, sum of the smallest 10 eigen values and sum of all eigen values of source matrix (the image). These individual characteristic features of flame and the synchronously obtained flue gas temperature values were analysed using multiple linear regression. Because of offering a vector form of errors and much compact form of analysis, in the study regression analysis was carried out in matrix form. Here, the dependent variable that holding the  $\lambda$  values measured by flue gas analysis device was represented by  $\mathbf{Y}$ . The independent variable that holds the characteristic features of flame images was defined by the  $\mathbf{X}_1$  and the independent variable holding flue gas temperature values was defined by  $\mathbf{X}_2$ . Since the regression analysis was done over the data obtained for 500 seconds of operation of burning system, the line number of  $\mathbf{Y}$  was 500. With respect to the results obtained from this regression analysis performed on 11 different flame characteristic features, it was found that the matrix trace had the most valuable correlation to the air excess coefficient. This data can be further improved and used in the intelligent flame control mechanisms integrated to coal burning systems.

**Keywords:** Coal burning system; Flame image features; Image processing; Air excessive coefficient, Coal burning control.



## Parabolik yoğunlaştırıcı toplayıcı-yansıtıcı yüzeyin matematiksel modellenmesi

**Samim DÜNDAR\***

Ege Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir

[samim.dundar@ege.edu.tr](mailto:samim.dundar@ege.edu.tr) ORCID: 0000-0002-0558-8478, Tel: (232) 311 51 26

Geliş: 20.02.2018, Kabul Tarihi: 15.03.2018

### Öz

Günümüzde pek çok alanda ihtiyaç duyulan enerjinin üretimi, tüketimi ve buna bağlı olarak değeri de giderek artmaktadır. Enerjinin üretim ve tüketimi, kalkınma ve gelişmişlik düzeylerini göstermesi bakımından da önemlidir. Dünyada halen enerji üretimi, büyük ölçüde fosil yakıt kaynaklı olması nedeniyle bu tür enerjiyi üretirken de, tüketirken de doğada önemli çevre tahribatına ve buna bağlı olarak iklim değişikliklerine sebep olduğu bilinmektedir. Bu nedenle küresel boyutta kirlilik yaratan klasik enerji üretim yöntemleri ve geleneksel üretim teknolojileri yerine; doğayı kirletmeyen, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilmesi için yeni teknolojiler geliştirmek tüm insanlık için zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmıştır. Bu tür enerji kaynaklarından bazıları rüzgâr tribünleri ve güneş enerjisidir. Ancak güneş enerjisi tükenmez bir enerji kaynağıdır. Çevre sorunu yaratmayan, kullanımı kolay ve potansiyeli yüksek olması nedeniyle güneş enerjisi kullanımı yaygınlaşabilecek durumdadır. Türkiye'nin dünya üzerindeki konumu, güneşlenme süresi bakımından güneş enerjisi potansiyeli yüksektir. Ancak ne yazık ki bu kaynaktan yeterince yararlanılmamaktadır. Güneş enerjisinden yararlanabilmek için güneş kolektörlerine ihtiyaç vardır. Güneş enerjisinden gelen enerjiyi toplayan kolektörler, düzlemsel ve parabolik olmak üzere iki tiptir. Parabolik kolektörler de, parabolik çanak veya parabolik oluk biçiminde olabilir. Kolektörün parabolik çanak ya da parabolik oluk biçiminde olması halinde kolektörün kesit eğrisi parabol eğrisidir. Bu çalışmada söz konusu parabol eğrisinin denklemi, dik koordinat sisteminde bilinmeyen bir eğri üzerine düşen güneş ışığının fiziksel özellikleri ve sistemin geometrisi kullanılarak elde edilen doğrusal olmayan bir diferansiyel denklemin çözümü yapılarak analitik olarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Parabolik güneş kolektörü; Güneş enerjisi; Doğrusal olmayan diferansiyel denklemler; Homojen diferansiyel denklemler.

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Türkiye’de sanayide kullanılan toplam enerji ihtiyacının %0,1 oranında güneş enerjisinden yararlanılmaktadır. Ülkemizde güneş enerjisi kullanımı, sadece güneş kolektörleri vasıtasıyla sıcak su üretimi ile sınırlı değildir. Güneş enerjisi sıcak su üretimi dışında elektrik enerjisi üretilmesi için de kullanılmaktadır. Enerji Bakanlığı 2018 bütçe sunuş kitapçığındaki verilere göre; 2017 yılı üçüncü çeyrek sonu itibariyle 1753 MW kurulu güce sahip 2104 adet lisanssız güneş santrali devrededir. Yani ülkemizde düşüğe olsa güneş enerjisinden elektrik üretilmektedir. Bunların dışında sulama suyunun pompalanması, bitkisel üretimlerin soğutulması ve kurutulması, pişirilmesi, endüstriyel işlem ısısı üretilmesi, fotokimyasal ve foto sentetik çevrimlerin gerçekleştirilmesi vb. gibi alanlarda da kullanılabilen bir enerji türüdür. Temiz ve tükenmez olması, proses ısısının istenilen sıcaklıkta doğrudan elde edilmesi, işletme maliyetinin düşük olması güneş enerjisinin başlıca avantajları olup, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, enerjinin kesikli ve değişken bir biçimde gelmesi, geniş kurulum alanlarına ihtiyaç duyulması vb. dezavantajlarıdır (Kartal, 2007; Akkoç, 2012). Tarih öncesinde bazı kabileler Güneş’e tapmışlar ve her doğal fenomenin arkasındaki güç olarak görmüşlerdir. İlk çağlardan itibaren de insanlar güneş enerjisinden faydalanmayı düşünmüşlerdir (Kalogirau, 2004). Günümüzde güneş enerjisinden buhar üretimi (Gudekar vd., 2013) dışında, tropikal iklim koşullarında, bakteri içeren ve güneş ışığına maruz kalan içme suyunun arıtılması (Nalwanga vd., 2014), deniz suyunun tuzdan arındırılması (Garcia-Rodriguez vd., 2002) gibi değişik amaçlar için kullanılmaktadır.

Güneş enerjisinden yararlanabilmek için gelen enerjiyi toplayan kolektörlere ihtiyaç vardır (Kartal, 2007; Akkoç, 2012; Eroşkun vd., 2013). Kendi içerisinde farklı tipleri olmasına rağmen başlıca iki tip kolektör kullanılmaktadır. Birincisi düzlemsel, ikincisi de parabolik kolektörlerdir. İkinci tip kolektörler parabolik silindir biçiminde olup, kesit parabol eğrisidir (O’Gallagher, 2008). Yine parabolik olduğu

halde involüt ve alıcıdan oluşan, silindirik alıcılı birleşik parabolik yoğunlaştırıcı kolektörlerin güneş takip sistemine ihtiyaç duymamaları nedeniyle diğerlerine göre daha avantajlıdır (Gürüz ve Atik, 2012).

Bu çalışmada yukarıda adı geçen parabol eğrisinin denklemini elde etmek amacıyla, dik koordinat sisteminde bilinmeyen bir eğri ile gelen güneş ışığının fiziksel özellikleri ve olayın geometrisi kullanılarak elde edilen doğrusal olmayan bir diferansiyel denklem ve denklemin çözümü yapılarak söz konusu parabolün analitik denklemi elde edilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

Dünyanın yaklaşık 109 katı büyüklüğünde ve yaşı  $4,57 \times 10^9$  yıl olan güneş ile ilgili bazı yapısal büyüklükler Tablo.1 de verilmiştir (DEK TMK, 2009; Duffie ve Beckman, 2013).

Güneşin dünyada ya da herhangi bir gezegende olduğu gibi belirli sınırları yoktur. Dış katmanlarında merkezinden uzaklaştıkça gaz yoğunluğu üstel olarak azalır. Güneş’in belirgin bir içyapısı bulunmaktadır. Güneş’in yarıçapı merkezinden ışık küresinin (fotosfer) kenarına kadar ölçülür. Bu hemen yukarısında gazların önemli miktarda ışık saçamayacak kadar çok soğuk ya da çok ince olduğu katmandır. Işık yuvarı çıplak gözle görülen yüzeydir. Güneş çekirdeği toplam hacminin yüzde 10’una ama toplam kütesinin yüzde 40’ına sahiptir. Işık küresinin (fotosfer) bileşimi de Tablo.2 de verilmiştir (DEK TMK, 2009; Duffie ve Beckman, 2013).

Tablo 1. Güneşin yapısal özellikleri

Çap	1391981km, (109 dünya çapı)
Yüzey alanı	$6,088 \times 10^{15}$ km <sup>2</sup> (11900 dünya)
Kütle	$1,9891 \times 10^{30}$ kg (322936 dünya)
Hacim	$1,4122 \times 10^{27}$ m <sup>3</sup> (1304000 dünya)
Merkez basıncı	$2,477 \times 10^{11}$ Bar
Sıcaklığı	$1,571 \times 10^7$ K
Ortalama Yoğunluk	$\sim 1,409 \times 10^3$ kg/m <sup>3</sup>
Yüzey sıcaklığı	5778 K
Çekirdek sıcaklığı	$\sim 15,7 \times 10^6$ K

Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi biçimindeki füzyon sürecinden açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneşte saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Dönüşümdeki 4 milyon ton kütlede  $38 \times 10^{22}$  kJ enerji açığa çıkmaktadır. Termonükleer bir reaktör olan güneşten çeşitli dalga boylarında ( $62 \text{ MW/m}^2$ ) enerji yayılmakta ve güneşin bütün yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir.

Tablo 2. Fotosfer bileşimi

Element	Oran
Hidrojen	% 73,46
Helyum	% 24,85
Oksijen	% 0,77
Karbon	% 0,29
Demir	% 0,16
Kükürt	% 0,12
Neon	% 0,12
Nitrojen	% 0,09
Silikon	% 0,07
Magnezyum	% 0,05

Dünya'ya güneşten 150 milyon km kat ederek gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 15 bin katıdır. Güneş enerjisinin atmosfer dışındaki ışıma değeri yaklaşık  $1370 \text{ W/m}^2$  dir. Güneş enerjisinin yeryüzündeki dağılımı dünyanın şekli nedeniyle büyük farklılıklar göstermekte olup, dünyaya gelen ortalama güneş enerjisi  $0-1100 \text{ W/m}^2$  mertebesinde dir. Güneş radyasyonunun enerji olarak %46'sı spektrumun kızılötesi bölgesinde, %45'i görünür ışık bölgesinde geri kalan yüzdesi de mor ötesinde bulunur. Güneş ışımasının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz, %30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır. %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Güneşten gelen ışımasının %20'si ise atmosfer ve bulutlarda tutulur (DEK TMK, 2009; Kartal, 2007).

Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar 1970'li yıllardan sonra hız kazanmıştır. Güneş enerjisi sistemleri teknolojik

olarak ilerlemiş, maliyetleri düşme göstermiş ve güneş enerjisi çevre bakımından temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmiştir (DEK TMK, 2009).

Dünyanın yörünge yarıçapı yaklaşık 150 milyon km. dir. Güneşten dünyamıza enerji bu uzun yolu 8 dakika içinde alır. Bu kadar uzun olmasına rağmen, dünya 40 dakika içerisinde, dünyada bir yılda tüketilen toplam enerjiye eşit miktardaki enerjiyi güneşten gelen ışımandan soğurur. Güneşin değişik yöntemler ile ölçülen sıcaklığı yaklaşık  $5,800^\circ\text{C}$ , yani bir saniyede yaydığı ışıma enerjisi yaklaşık  $4 \times 10^{23}$  kW tır. Bu 100 watt'lık 400 trilyon×bir trilyon ampul gücüne denktir. Bu olağanüstü bir miktar olup, bu enerjiden yararlanmanın yollarını araştırmak son derece doğru bir yoldur (DEK TMK, 2009; Kartal, 2007).

### Enerjisinin yoğunlaştırılması

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri güneşten gelen enerjiyi kullanarak önce yüksek sıcaklıkta ısı enerjisine, sonra da bilinen yöntemlerle elektrik enerjisine dönüştürür. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri hem konutlarda kullanılacak düşük güçler için 10 kW, hem de 100 MW 'a kadar enerji nakil sistemlerini besleyecek kadar büyük güçler için tasarlanabilir. Kolektöre gelen ışımanın büyük bir kısmından yararlanmak gerekir. Bu nedenle parabolik toplayıcılar, düz olanlara göre daha verimli ve daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Bir kolektörde ışımanın yutulduğu yüzeye alıcı yüzey denir. Burada bir ısı toplama elemanı bulunmalıdır (Kartal, 2007). España ve Rodriguez (1987), parabolik bir kolektörün emici tüpünün bir modelini ele almış, tüpün fiziksel davranışını incelemiş, formülasyonu ve analizini yapmıştır.

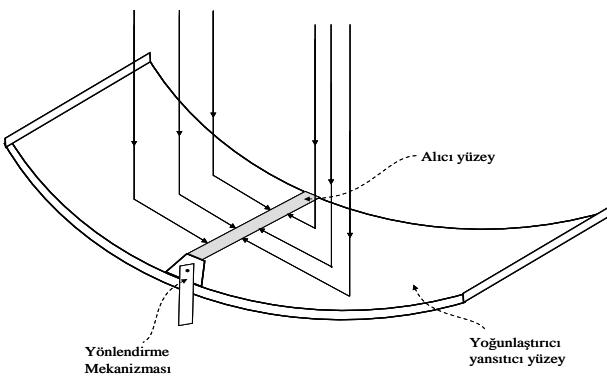
Enerjiyi toplama biçimine göre yapılmış üç farklı tipte yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemi vardır (DEK TMK, 2009). Bunlar:

- Parabolik oluk sistemi,
- Ayna/motor sistemi,
- Güneş kulesi sistemidir.

## Parabolik oluk sistemleri

Güneşten gelen enerji parabolik bir eğrisel yüzeye sahip oluk biçiminde bir yansıtıcı eleman yardımıyla yoğunlaştırılır. Yansıtıcı yüzey üzerinde eğri boyunca hareket eden ve ışınımı yutan bir boru vardır. Şekil 1'de bu sistem görülmektedir. Güneşten gelen ışınlar boru üzerine yoğunlaştırılarak boru içindeki sıvı ısıtılır. Bunun sonucu üretilen buhar bir türbin-jeneratör sisteminden geçirilerek elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu sistemler güneşin olmadığı zamanlarda da üretim yapılabilmesi için ayrıca bir termal enerji depolama sistemine de sahip olmalıdır. Parabolik oluk sistemlerinde yoğunlaştırma oranı 10 'dan 100 'e kadar çıkabilirken, sıcaklık da 400°C 'a kadar çıkabilir.

Bu biçimdeki bir kolektör sistemi kuzey-güney ekseninde, paralel bir biçimde sıralanmış birçok çanakdan oluşur. Bu düzenek güneş ışınlarının gün boyunca doğudan batıya doğru tek eksenle izlenmesine ve sürekli olarak yutucu boru üzerinde odaklanmasına olanak verir. Sharma ve arkadaşları (2013), parabolik oluk tipindeki bitişik kolektörlerin gölgelemeleri göz önüne alındığında kuzey-güney yönlü kolektör alanının enerji kullanılabilirliği bakımından daha iyi olduğu, belirli bir konum ve yönlendirme için gereken asgari aralığın seçilebileceğini göstermiştir.



Şekil 1. Parabolik oluk sistemi.

Parabolik oluk biçiminde tasarlanmış bir kolektör sistemi toplam kapasitesi 350 MW 'dan büyük sistemler kurulabilir. Bu tip sistemlerde ısı transfer akışkanı olarak termal yağ kullanılır. Güneşten gelen enerji ile ısıtılan yağ borular yardımıyla bir seri ısı eşanjörüne yönlendirilerek 390°C sıcaklığa kadar ısınan buhar elde edilebilir. Bu ısınmış buhar bir türbinden geçirilerek elektrik enerjisi üretilir. Düz kolektörde güneş takip sistemi yoktur. Oysaki parabolik oluk biçiminde tasarlanmış bir kolektör sisteminde isteğe bağlı ışın yoğunlaştırmalı, tek ya da çift boyutlu güneş takip sistemi entegre edilmelidir. Bu tip kolektörler çizgisel ya da noktasal odaklamalı olabilir (DEK TMK, 2009; Kartal, 2007; Akkoç, 2012).

Cheng ve çalışma arkadaşları (2014), güneş yoğunluk sistemlerinin kullanımı için, diferansiyel denklemlere dayanan içbükey ve dışbükey şekillerden oluşan görüntüsüz ikincil reflektörler önerilmiştir.

## Türevine göre çözülebilen diferansiyel denklemler

Birinci mertebeden,

$$f\left(x, y, \frac{dy}{dx}\right) = 0 \quad (1)$$

diferansiyel denklemini ele alalım. Bu denklemde,  $dy/dx=p$  ile gösterilirse (1)'nolu denklem,

$$f(x, y, p) = 0 \quad (2)$$

biçiminde yazılır. (2) denklemi birinci dereceden ise buradan  $p$  çözüldüğünde,

$$p = g(x, y) \quad (3)$$

bulunur. (3) denkleminin integrali (1) denkleminin çözümünü verir. Eğer (2) denklemi birinci dereceden değilse ki bu durumda diferansiyel denklemin doğrusal olmadığı sonucu ortaya çıkar,  $p$  her biri  $x$  ve  $y$  'nin fonksiyonu olan  $n$  tane köke sahipse, diferansiyel denklem çarpanlarına ayrılarak,

$$(p - g_1(x, y))(p - g_2(x, y)) \cdots (p - g_n(x, y)) = 0 \quad (4)$$

$n$  adet birinci dereceden ve birinci mertebeden denklem diferansiyel elde edilir. (3) 'deki bu denklemler birer birer çözümlerse bulunan çözümlerin çarpımları,

$$(\phi_1(x, y, c))(\phi_2(x, y, c)) \cdots (\phi_n(x, y, c)) = 0 \quad (5)$$

çözümdür. Bazen (5) 'deki çözümlerden bazıları diferansiyel denklemin çözümleri olmayabilir. Bu yüzden her defasında bunların denklemi sağlayıp, sağlamadığını araştırmak gerekir (Nagle vd., 2012; Edwards ve Penney, 2004).

### Homojen diferansiyel denklemler

$$\frac{dy}{dx} = F(x, y) \quad (6)$$

diferansiyel denklemde,  $F(x,y)$  fonksiyonu, sıfırcı dereceden homojen bir fonksiyon ise diferansiyel denkleme "homojen diferansiyel denklem" denir.  $F(x,y)$  sıfırcı dereceden homojen bir fonksiyon olduğuna göre  $\lambda \neq 0$  olmak üzere,

$$F(\lambda x, \lambda y) = F(x, y)$$

eşitliği sağlanmaktadır.  $\lambda$  keyfi olduğundan  $\lambda = 1/x$  alınırsa,

$$F(x, y) = F(1, y/x)$$

elde edilir ki,  $F(x,y)$  fonksiyonu  $y/x$ 'in fonksiyonu haline gelir. (6)'daki diferansiyel denklemde,

$$\frac{y}{x} = u, \quad \frac{dy}{dx} = x \frac{du}{dx} + u \quad (7)$$

dönüşümü yapılırsa,

$$x \frac{du}{dx} = G(u) - u \quad (8)$$

elde edilir. Son denklem değişkenlerine ayrılabilen bir diferansiyel denklemdir, kolaylıkla çözümler (Nagle, vd., 2012; Edwards ve Penny, 2004).

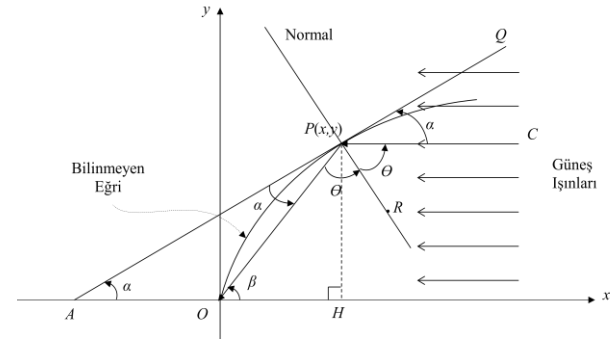
### Kolektörü oluşturan eğri

Şekil 2'de gelen ışının yatay ile yaptığı açı, yani  $\widehat{QPC}$  açısı  $\alpha$  ve  $P$  noktasından yansıyan ışın  $PO$  olsun. Yansıma kanununa göre  $\widehat{CPR} = \widehat{RPO} = \theta$  ve dolayısıyla,  $\widehat{QPC} = \widehat{OPA} = \alpha$  olmalıdır (Duffie ve Beckman, 2013).

Yöndeş olmaları nedeniyle  $\widehat{QPC}$  açısı ile  $\widehat{PAH}$  açıları eşittir (Nagle vd., 2012).  $AOP$  üçgeninde de iki iç açının toplamı dış açıyı vermesi gerektiği için  $\beta = 2\alpha$  yani  $\tan\beta = \tan 2\alpha$  dolayısıyla,

$$\tan \beta = \frac{2 \tan \alpha}{1 - \tan^2 \alpha} \quad (9)$$

olur.



Şekil 2. Parabolik kolektör sisteminin düzlemsel kesiti

$$\tan \alpha = dy/dx \quad (10)$$

$$\tan \beta = y/x \quad (11)$$

olup, (9), (10) ve (11) 'den yararlanılırsa,

$$\frac{y}{x} = \frac{2(dy/dx)}{1 - (dy/dx)^2}$$

buradan da,

$$y \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 + 2x \left( \frac{dy}{dx} \right) - y = 0 \quad (12)$$

diferansiyel denklemi elde edilir. (12) denklemi doğrusal olmayan bir diferansiyel denklemdir. Bu denklem türevine göre çözülebilir. Bu amaçla  $dy/dx=p$  yazılıp,

$$yp^2 + 2xp - y = 0$$

ve buradan  $p$  çözümlerse,

$$p = \frac{-x \pm \sqrt{x^2 + y^2}}{y}$$

ya da,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-x \pm \sqrt{x^2 + y^2}}{y} \quad (13)$$

elde edilir. (13) denklemindeki türev, aynı zamanda Şekil 2'deki  $AQ$  teğetinin eğimini verir. Fakat  $\alpha$  açısı dar açı olduğu için tanjantı

yani  $AQ$  teğetinin eğimi dolayısıyla türev pozitif olmalıdır. Bu yüzden bilinmeyen eğri

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-x + \sqrt{x^2 + y^2}}{y} \quad (14)$$

homojen diferansiyel denkleminin çözümüdür. Bu denklemi çözmek amacıyla (7) 'de önerilen dönüşüm yapılırsa,

$$x \frac{du}{dx} = \frac{-(1+u^2) \pm \sqrt{1+u^2}}{u} \quad (15)$$

elde edilir. Son denklem birinci mertebeden değişkenlerine ayrılabilen diferansiyel denklem olup,

$$\frac{u}{-(1+u^2) + \sqrt{1+u^2}} du = \frac{dx}{x} \quad (16)$$

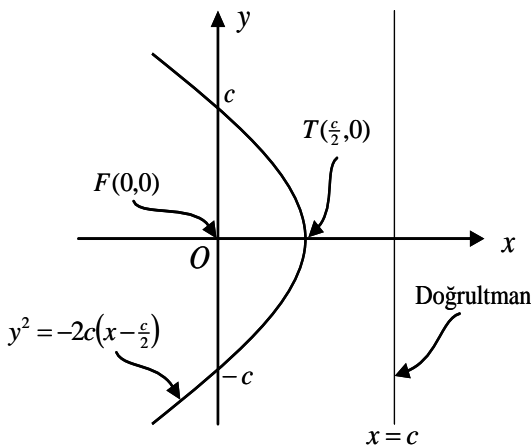
biçiminde yazılır ve integral alınırsa çözüm,

$$y^2 = c^2 - 2cx \quad (17)$$

bulunur. (17) 'de  $c$ : integral sabiti olup, eğri bir parabol gösterir. Bu eğri Şekil 2'deki bilinmeyen eğrinin denklemidir. (17)'deki parabol,

$$y^2 = -2c \left( x - \frac{c}{2} \right) \quad (18)$$

biçiminde düzenlenirse, tepe noktasını koordinatları,  $T(c/2,0)$ , odağı orijin, doğrultmanı,  $x=c$  doğrusudur. Şekil 3' de (18)'deki parabolün grafiği çizilmiştir.



Şekil 3. Parabolün grafiği.

## Bulgular ve Tartışma

Duffie ve Beckman (2013), parabolün denklemini,

$$y^2 = 4f x$$

olarak ifade etmiştir. Burada  $f$ , odak noktasından tepe noktasına, aynı zamanda tepe noktasından doğrultmana olan mesafedir. Bu parabolün tepe noktası orijindedir. (18)'deki parabolde,

$$x = r + c/2, y = s$$

dönüşümü yapılırsa ki bu dönüşüm ile dik koordinat sistemini  $Ors$  koordinat sistemine ötelemiş oluruz. Yeni koordinat sisteminde denklem,

$$s^2 = -2c r \quad (19)$$

olur. Burada  $f = 2c$  dir. Yani odak noktası ile tepe noktası arasındaki mesafe değişmemiştir. Ancak  $Ors$  koordinat sisteminde merkezil denkleme dönüşmüştür. Şimdi de (19) denklemindeki parabolde,

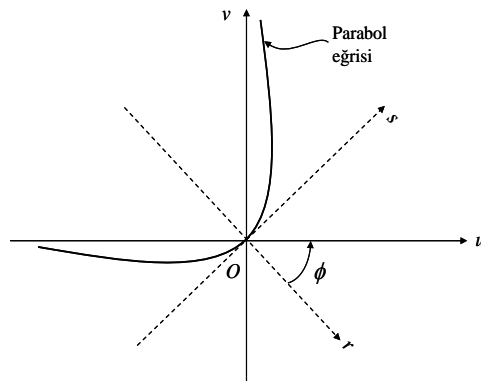
$$r = u \cos \phi - v \sin \phi \quad (20)$$

$$s = u \sin \phi + v \cos \phi$$

(O'Gallagher, 2008) dönüşümü yapılırsa,  $Ors$  koordinat sistemini  $\phi$  açısı kadar döndürmüş olacağız. Bu durumda denklem,

$$u^2 \sin^2 \phi + v^2 \cos^2 \phi + uv \sin 2\phi + 2cu \cos \phi - 2cv \sin \phi = 0 \quad (21)$$

halini alır ve son durumda grafik Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Koordinat eksenlerinin  $\phi$  açısı kadar döndürülmesi sonucu oluşan grafik.

Şekil.2’ deki parabol eğrisinin konumu sabit değildir. Güneşi takip etmesi gerekir. Böylece kurulacak bir takip sistemi ile Şekil 4’teki  $\emptyset$  açısı kadar döndürme olanağına sahip oluruz.

## Kaynaklar

- Akkoç, S., (2012). Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı Güneş Kolektörleri ile Su Isıtma Sisteminin Matematiksel Modeli, Simülasyonu ve Performans Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Cheng, Q., ChaI, J., Zhou, Z., JinIn Song, J., Su, Y., (2014). Tailored non-imaging secondary reflectors designed for solar concentration Systems, *Solar Energy*, 110, 160–167.
- DEK TMK - Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, (2009). *Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi*, EKC Form Ofset, DEK-TMK Yayın No: 0011.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A., (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*, pp:351-371, Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons Inc.
- Edwards, C.H., Penney, D.E., (2004). *Differential Equations and Boundary Value Problems*, pp:60-76. Pearson Education Inc.N.J.
- Ercoşkun, G.T., Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, D., (2013). Çift Oluklu Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörünün Tasarımı, İmalatı ve performansının İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(4), 855-863.
- España, M.D., Rodriguez, V. L., (1987). Approximate steady-state modeling of solar trough collectors, *Solar Energy*, 38(6), 447-454.
- Garcia-Rodriguez, L., Palmero-Marrero, A.I., Gomez-Camacho, C. (2002). Comparison of Solar Thermal Technologies For Applications In Seawater Desalination, *Desalination*, 142(2), 135-142.
- Gudekar, A.S., Jadhav, A.S., Panse, S.V., Joshi, J.B., Pandit, A.B., (2013). Cost Effective Design Of Compound Collector For Parabolic Steam Generation, *Solar Energy*, 90, 43–50.
- Gürüz, K. , Atik, K., (2012). Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı Kolektörlerde Farklı Yarım Kabul Açısı ve Farklı Kesim Değerlerinin Yoğunlaştırma Oranına Etkisi, *Teknolojik Araştırmalar Elektronik Dergisi*, 9(4), 1-9.
- Kalogirou, S.A., (2004). Solar Thermal Collectors And Applications, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(3), 231–295.
- Kartal, Y., (2007). Parabolik Yansıtıcı Yüzeyle Yoğunlaştırıcı Güneş Kolektörü Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Nalwanga, R., Quilty, B., Muyanja, C, Fernandez-Ibañez, P., McGuigan, K.G., (2014). Evaluation of solar disinfection of E. coli under Sub-Saharan field conditions using a 25L borosilicate glass batch reactor fitted with a compound parabolic collector, *Solar Energy*, 100,195–202.
- Nagle, R.K., Saff, E.B., Snider, A.D., (2012). *Fundamentals of Differential Equations and Boundary Value Problems*, pp:1-88, Boston, Pearson Education, Inc.
- O’Gallagher, J.J., (2008). *Nonimaging Optics in Solar Energy*, pp:7-37, Morgan & Claypool Publishing Series.
- Sharma, V.M. Nayak, J.K. Kedare, S.B., (2013). Shading and Available Energy In A Parabolic Trough Concentrator Field, *Solar Energy*, 90, 144–153.



## Mathematical modelling of parabolic condensing collector-reflector Surface

### Extended abstract

Today, the production, consumption and value of the energy required in many areas are increasing. The production and consumption of energy is also important because it shows the level of development. Energy production and consumption, which are mainly based on fossil fuels, unfortunately cause considerable environmental pollution and climate changes.

Therefore, instead of classical energy production methods and traditional production technologies that create pollution at global scale, the development of new technologies that can use sustainable and renewable energy sources that do not pollute nature has become compulsory for all humanity. For this reason, renewable energy sources have gained importance. Some of these energy sources are wind and solar energy. However, solar energy is an inexhaustible source of energy. The use of solar energy is likely to be widespread as it is environmentally friendly, easy to use and has a high potential.

Due to its location in the World, which determines sunshine duration, solar energy potential of Turkey is high. Unfortunately, this resource is not utilized enough. Solar collectors are needed to make use of solar energy. Collectors that collect energy from the sun are two types, planar and parabolic. The parabolic collectors may be in the form of a parabolic dish or a parabolic groove. The energy from the sun is condensed by means of a reflective element in the form of a groove with a parabolic curvilinear surface. The rays of the sun are condensed on a pipe and the liquid in the pipe is heated. The resulting steam is passed through a turbine-generator system and converted into electricity. These systems should also have a thermal energy storage system so that they can be produced in the absence of sun. If the collector is in the form of a parabolic dish or a parabolic groove, the cross-section of the collector is a parabolic curve. In this study, the equation of the parabola curve is analytically obtained by solving a nonlinear differential equation obtained by using the system's geometry and the physical properties of the sunbeam falling on an unknown curve in the orthogonal coordinate system. It is found as a differential

equation which can be solved according to the derivative of the nonlinear differential equation.

In the first order nonlinear differential equations of type:

$$f\left(x, y, \frac{dy}{dx}\right) = 0$$

the differential equation is transformed into an algebraic equation by performing  $dy / dx = p$ . When  $p$  is solved,  $n$  first-order differential equations are obtained if  $p$  is the grade  $n$ . But all of the solutions of these  $n$  first-order differential equations cannot provide the initial differential equation. Therefore, it is necessary to check whether all of these solutions provide the equation. Those which provide are taken as solutions and those which do not provide are dismissed. During the solution of these  $n$  first-order differential equations, we can encounter different types of differential equations. In this study, one,

$$\frac{dy}{dx} = F(x, y)$$

homogeneous differential equation was found. Finally, by performing this homogeneous differential equation  $y / x = u$  transformation, a differential equation of the first order can be separated into its variables, and a solution is obtained. The solution of the anticipated solution as a parabola curve is first obtained by the standard equation and then the equation rotated by  $\emptyset$ .

**Keywords:** Parabolic solar collector, Solar energy, Nonlinear differential equations, Homogeneous differential equations.



# Al7050 Serisi Talaşlar Kullanılarak Sıcak Ekstrüzyon Yöntemi ile Üretilen %5 B<sub>4</sub>C Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mikromekanik Özellikleri

**Burak KURTOĞLU**

Kastamonu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kastamonu  
[burakkurtoglu@gmail.com](mailto:burakkurtoglu@gmail.com), ORCID: 0000-0002-5563-4532

**Arif UZUN\***

Kastamonu Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu  
[auzun@kastamonu.edu.tr](mailto:auzun@kastamonu.edu.tr), ORCID: 0000-0002-8120-4114

Geliş: 25.02.2018, Kabul Tarihi: 24.07.2018

## Öz

*Bu çalışmada, Al7050 serisi talaşlardan sıcak ekstrüzyon yöntemi ile %5 B<sub>4</sub>C takviyeli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar başlangıç olarak Al7050 serisi bulk malzemelerden freze tezgâhında talaş üretimi ile başlamıştır. Üretilen talaşlar aseton ve alkol banyosundan geçirildikten sonra kurutma işlemleri ile temizlenmiştir. Daha sonra Al7050 serisi talaşlara ağırlıkça %5 oranında B<sub>4</sub>C parçacıkları ilave edilerek bilyeli öğütücüde 5 saat boyunca homojen bir karışım sağlanmıştır. Elde edilen karışım 600 MPa basınç altında 550°C sıcaklıkta tek yönlü olarak sıkıştırılarak biyet hale getirilmiştir. Çalışmada sıcak presleme yöntemi ile üretilen biyetler 550°C sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra ekstrüzyon işlemine tabii tutulmuştur. Ekstrüzyon sonrası üretilen kompozit çubuk numunelerin mikro-mekanik özellikleri derinlik duyarlı sertlik ölçme testleri ile analiz edilmiştir. Numuneler üzerinde farklı pik yükleri (2.94, 1.96 ve 0.98 N) altında derinlik duyarlı Vickers indentasyon testleri uygulanmıştır. Numunelerin mikro-mekanik özelliklerini değerlendirmek için yük (P)-penetrasyon derinliği (h) eğrileri analiz edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Al7050 serisi talaş; Sıcak ekstrüzyon; B<sub>4</sub>C; Mekanik özellik

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Alüminyum alaşımı talaşlarının doğrudan dönüşümü geri kazanım yöntemi talaşların ayrılması, kesme cihazında boyutlarının küçültülmesi, bilyalı değirmende öğütülmesi, soğuk preslenmesi ve sıcak ekstrüze edilmesi gibi aşamalarını içermektedir. Alüminyum talaşlarının hazırlanması aşamasında talaşlar öncelikle bileşimlerine ve safsızlık oranlarına göre ayrılır. Tornalama veya frezeleme gibi talaş çıkarma sürecinde kullanılan soğutucu ve yağlayıcıların talaş yüzeyinden temizlenmesi kimyasal veya ısıl yöntemle gerçekleştirilmektedir. Temizlenen talaşlar, talaş kesme veya kırma cihazında ufak parçalara ayrılmaktadır. Hazırlanan talaşlara bağlayıcı ve/veya takviye fazı olarak ilaveler yapılarak bir karışım hazırlanmaktadır. Hazırlanan karışım bilyeli öğütücülerde belirli bir süre kadar öğütülmekte ve karışım sağlanmaktadır. Daha sonra karışım soğuk veya sıcak olarak preslenerek kompakt hale getirilmektedir. Elde edilen ürünün gözenek hacmi veya yoğunluğu dikkate alınarak sinterleme işlemi veya ekstrüzyon işlemi uygulanabilmektedir.

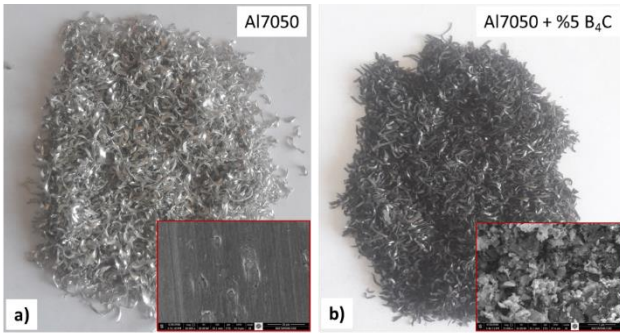
Son zamanlarda mühendislik malzemelerinin geri dönüşümü oldukça önem kazanmaktadır. Geri dönüştürülmüş malzemelerin maliyeti, geleneksel yöntemler ile üretilen malzemelerin maliyetinden oldukça düşüktür. Bu nedenle geri dönüşüm, özellikle gelişmiş ülkelerdeki malzemelerin üretiminde çok popüler bir yöntem haline gelmektedir. Değişik türdeki malzemeler arasında alüminyum ve alaşımları endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin atığı genellikle yarı mamullerin işlenmesinden kaynaklanan talaş biçimindedir. Spiral biçimindeki formlarından dolayı geleneksel yöntemler ile geri dönüştürmek oldukça güç olabilmektedir (Sherafat vd., 2009). Alüminyum talaşlarının geri dönüşümü için toz metalurjisi teknikleri kullanılarak bazı alternatif yöntemler araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Gronostajski vd., (1996, 1997, 2000) bu yöntemleri kullanarak alüminyum ve alüminyum esaslı kompozitlerin üretimini araştırmışlardır. Ayrıca Fogagnolo vd., (2003) tarafından yapılan çalışmada da AA6061 alaşımları  $Al_2O_3$

parçacıkları ile takviyelendirilerek kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Tekkaya vd., (2009) AA6060 talaşlarının SiC parçacıkları ile birlikte sıcak ekstrüzyonu üzerine bir çalışma sunmuşlardır. Sherafat vd., (2009) Al tozunu (%90 ila %40) ve AA7075 (%10 ila %60) talaşlarını öncelikli olarak karıştırmış ve sonrasında  $500^{\circ}C$ ' de sıcak ekstrüzyon işlemine tabi tutmuşlardır. Mikro yapısal analizin yanı sıra mekanik özellikleri çekme ve basma testleriyle belirlemişlerdir. Bununla birlikte, alüminyum ve alaşımlı talaşlar genellikle tungsten, SiC, alüminyum bronz,  $Al_2O_3$  ve diğerleri gibi takviye fazlarının eklenmesiyle geri dönüştürülmektedir (Gronostajski vd., 1996, 1998, 2001; Roshan vd., 2013; Samuel, 2003). Ayrıca, takviye fazı takviyesi olmadan, hava atmosferinde talaşların mekanik olarak öğütülmesi aynı zamanda güçlendirici oksit parçacıklarının oluşmasına neden olabilmektedir (Samoshina ve Bryantsev, 2012). Soğuk sıkıştırma tekniği kullanılarak alüminyum talaşlarının daha iyi bir şekilde birleştirilmesini sağlamak için yapılan çalışmada yüksek bağl yoğunluk elde edilmesine rağmen numune dış yüzeylerinin kalitesinde azalma gözlenmiştir (Kuzman vd., 2012). Bununla birlikte, talaşlar arasında yeterli düzeyde bağlanma elde edebilmek için uzun presleme zamanı ile yüksek sıkıştırma kuvvetlerinin tek başına yeterli olmadığı vurgulanmıştır (Fogagnolo vd., 2003). Bundan dolayı, alüminyum talaşlarından yüksek kalitede konsolide olmuş ürünlerin üretilebilmesi için sıkıştırılmış kompaktlara ekstrüzyon işlemi gibi ilave kayma kuvvetleri uygulanmaktadır (Wan vd., 2017). Tüm bahsedilen literatür çalışmalarından farklı olarak bu çalışma, sıcak ekstrüzyon yöntemi ile A17050 serisi talaşlardan %5  $B_4C$  takviyeli kompozit malzemelerin mikro-mekanik özellikleri derinlik duyarlı sertlik ölçme testleri ile analiz edilmiştir. Numuneler üzerinde farklı pik yükleri (2.94, 1.96 ve 0.98 N) altında derinlik duyarlı Vickers sertlik testleri uygulanmıştır.

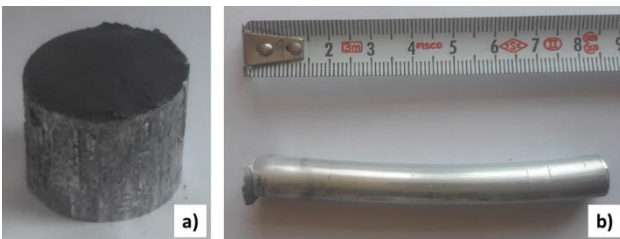
## Materyal ve Yöntem

Deneysel çalışmalar öncelikli olarak A17050 serisi bulk malzemelerden talaş üretimi ile

başlamıştır. Bu işlem için freze tezgâhı kullanılarak Şekil 1a'da verilen formda talaş üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen talaşlar aseton ve alkol banyosundan geçirildikten sonra kurutma işlemleri ile temizlenmiştir. Daha sonra Al7050 serisi talaşlara ağırlıkça %5 oranında B<sub>4</sub>C parçacıkları ilave edilerek bilyeli öğütücüde 200 rpm dönme hızında 5 saat boyunca homojen bir karışım sağlanmıştır (Şekil 1b). Elde edilen karışım 600 MPa basınç altında 550°C sıcaklıkta tek yönlü olarak sıkıştırılarak 27 mm çapında biyet hale getirilmiştir. Çalışmada sıcak presleme yöntemi ile üretilen biyetler 550°C sıcaklıkta kalıp 2 saat ısıtıldıktan sonra ekstrüzyon işlemine tabii tutularak 12 mm çapına düşürülmüştür (Şekil 2). Üretilen numunelerin mikroyapısal karakterizasyonu için enerji dağılımlı spektrometri içeren FEI Quanta FEG 250 taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Derinlik duyarlı indentasyon testleri Vickers tipi (Bruker UMT-2 SYS) derinlik algılayan batıcı bir uç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yük - boşaltma eğrileri, üç farklı maksimum yük (0.98, 1.96 ve 2.94 N) altında elde edilmiş ve her pik yükünde bekleme süresi 10 saniye olarak ayarlanmıştır.



Şekil 1. a) Al7050 talaş, b) Al7050 talaş + %5 B<sub>4</sub>C karışımı



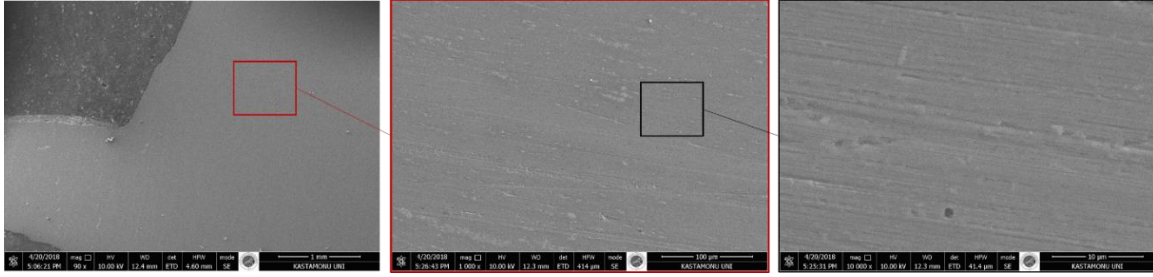
Şekil 2. Sıcak presleme sonrası üretilen biyet, b) Ekstrüzyon sonrası üretilen numune

## Bulgular ve Tartışma

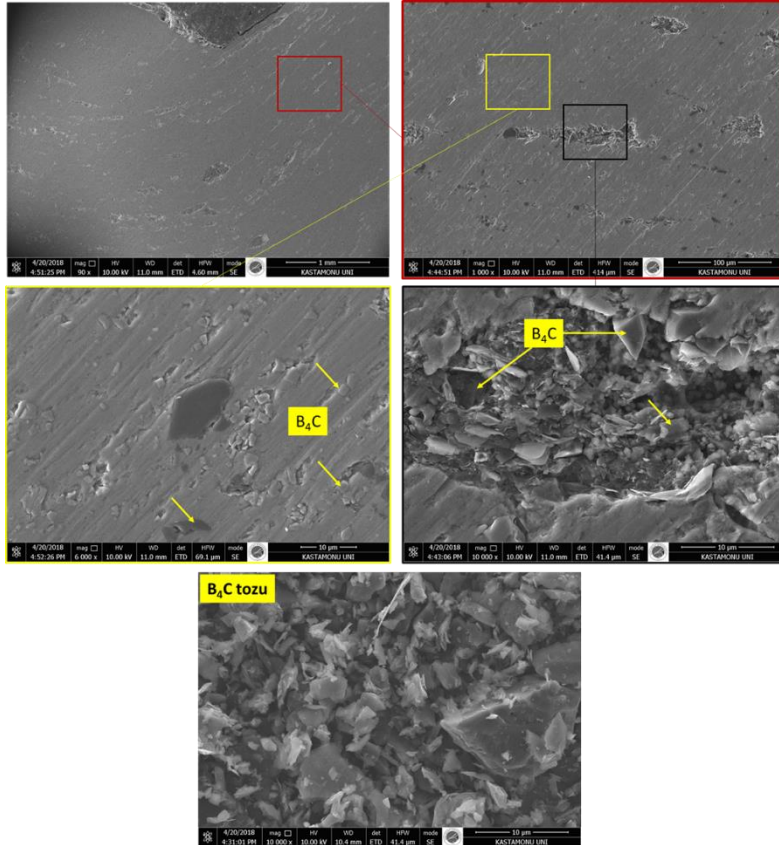
Şekil 3'te ekstrüze edilmiş Al7050 malzemenin ekstüzyon yönündeki kesitinin SEM görüntüsü verilmektedir. Görüntüye bakıldığında malzeme yüzeyinde önemli ölçüde gözeneğe rastlanmamaktadır. Yalnızca daha büyük büyütmelerde numune yüzey hazırlama işlemleri esnasında oluşmuş olan çok az miktarda çiziklere rastlanılmıştır. Ayrıca talaşların bir biri ile olan temas yüzeyleri net olarak tespit edilememiştir. Şekil 4'te ise ekstrüze edilmiş %5 B<sub>4</sub>C içeren Al7050 malzemenin ekstüzyon yönündeki kesitinin SEM görüntüsü verilmektedir. %5 B<sub>4</sub>C içeren Al7050 malzemenin yüzey görüntüsü parçacık içermeyen Al7050 numuneye kıyasla daha fazla kusur içermektedir. Bu durumun yüzey hazırlama işlemleri ile birlikte B<sub>4</sub>C parçacıklarının etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Talaş yüzeyleri üzerinde konumlanan B<sub>4</sub>C parçacıkları sıcak presleme ve ekstrüzyon işlemi ile birlikte malzeme ara yüzeyinde zaman zaman topaklanma şeklinde yer almıştır. Bu topaklanma şekilleri ekstrüzyon yönü boyunca yer yer yönlenmiş durumdadır. Bununla birlikte deformasyon esnasında B<sub>4</sub>C parçacıkları yapı içerisinde de dağılmış durumdadır.

Şekil 5'te derinlik duyarlı sertlik ölçme testinde yüklem ve boşaltma işlemi esnasında uygulanan kuvvete (P) karşılık kontak yüzeyinde oluşan batma derinliğinin (h) şematik bir gösterimi verilmiştir. Bu eğri üzerindeki önemli parametreler, tepe yükü (P<sub>max</sub>), maksimum derinlik (h<sub>max</sub>), boşaltmadan sonraki nihai veya artık derinliği (h<sub>f</sub>) ve temas derinliğidir (h<sub>c</sub>). Bir başka önemli parametre ise, boşaltma eğrisinin üst kısmının eğimi olup, eğride S ile gösterilen eğim (dP/dh) yükün boşalma hızı olup kontak direngenliği olarak adlandırılır. Sertlik (H) yüklem ve boşaltma verilerinden aşağıdaki Eşitlik 1'deki ilişkiler kullanarak elde edilebilir (Liu ve Ngan, 2001). Burada A, verilen yükteki temas alanıdır.

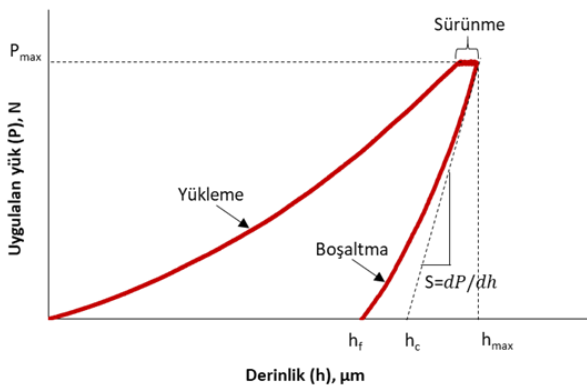
$$H = \frac{P_{max}}{A}; \quad A = 26.43h_c^2 \quad (1)$$



Şekil 3. Ekstrüze edilmiş Al7050 malzemenin ekstrüzyon yönündeki kesitinin SEM görüntüsü



Şekil 4. Ekstrüze edilmiş %5 B<sub>4</sub>C içeren Al7050 malzemenin ekstrüzyon yönündeki kesitinin SEM görüntüsü

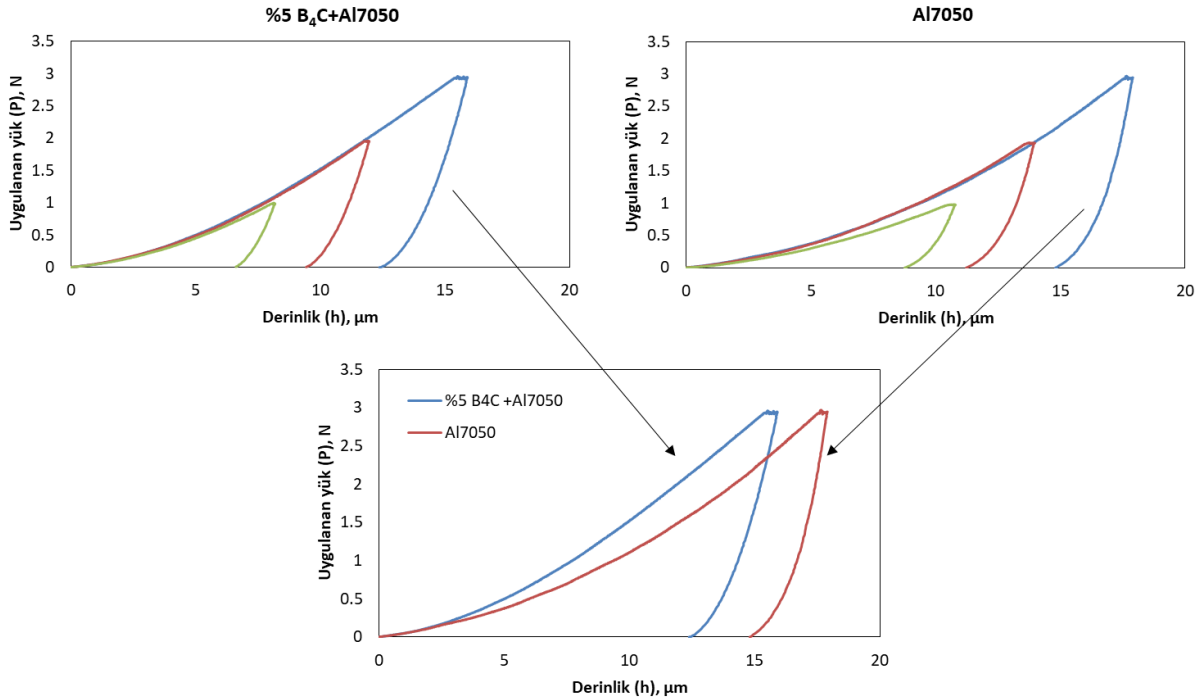


Şekil 5. Derinlik duyarlı sertlik ölçme testinde elde edilen örnek bir P- h eğrisi

Şekil 6'da Al7050 ve %5 B<sub>4</sub>C içeren Al7050 numunelerin derinlik duyarlı mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen P-h eğrileri verilmektedir. Her iki numune türü için verilen eğrilerde eğrilerin yükleme kısımları birbirleri ile nispeten örtüşmektedir. Bu durum numunelerin benzer karakteristikte elastik ve plastik deformasyon mekanizmasına sahip olduğunun göstergesidir (Kölemen, 2006; Sahin vd., 2008). Bu durum verilen deneysel yük aralığı için geçerli olmaktadır. Al7050 numune ile %5 B<sub>4</sub>C içeren Al7050 numuneleri birbirleri ile karşılaştırıldığında ise yükleme eğrileri birbirleri ile örtüşmemektedir. Bu durum numunelerin

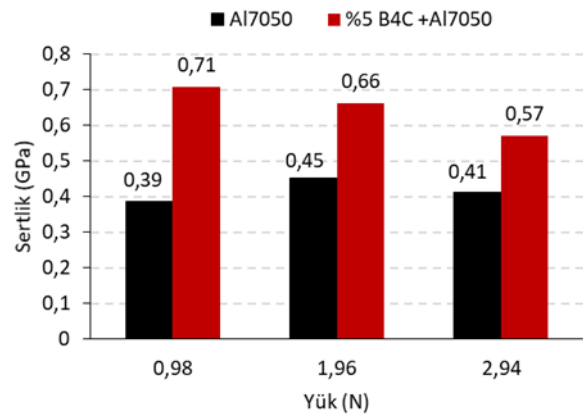
mikro-deformasyon özellikleri ve mikro yapısal farklılıklardan kaynaklanmaktadır. İlave edilen %5 B<sub>4</sub>C parçacıklarının Al7050 talaşından üretilen numunelerin elastik-plastik davranışı üzerine bir etkiye sahip olduğunun göstergesidir. B<sub>4</sub>C ilavesi ile yükleme eğrilerinin eğimleri

artmıştır. Bu durum malzemelerin plastik deformasyona karşı dirençlerinin arttığını göstermektedir (Kılıçaslan vd., 2014).



Şekil 6. Al7050 ve % 5 B<sub>4</sub>C+Al7050 numunelerin derinlik duyarlı mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen P-h eğrileri

Şekil 7’de verilen grafikten anlaşılacağı gibi derinlik duyarlı mikro sertlik değerleri B<sub>4</sub>C ilavesi ile artmıştır. Ayrıca bu değişim yüke bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Uzun vd., 2018). %5 B<sub>4</sub>C içeren Al7050 numune ile içermeyen Al7050 numune arasındaki sertlik farkı, artan yük ile birlikte azalmıştır. Maksimum sertlik değeri 0,71 GPa ile %5 B<sub>4</sub>C içeren Al7050 numunede 0,98 N yük uygulanmasında elde edilmiştir. Bu değer B<sub>4</sub>C içermeyen numunede elde edilen sertlik değeri ile karşılaştırıldığında yaklaşık 1,8 kat fark oluşmuştur. Bu fark 2,94 N’luk yük uygulamasında yaklaşık 1,4 kadardır. P-h grafikleri incelendiğinde bekleme esnasında batıcı ucun numune içerisinde daha fazla ilerlemesi sonucu sürünme bölgelerinin oluştuğu dikkat çekmektedir. Sürünme malzemeye etki eden kuvvet kalktığında geri dönüşme ve iç sürtünme özelliklerinin birlikte sergilenmesi ile meydana gelmektedir.



Şekil 7. Al7050 ve % 5 B<sub>4</sub>C-Al7050 numunelerin sertlik değerleri

Derinlik duyarlı sertlik ölçüm testinde numunelerin deformasyon davranışları hakkında yeterli bilgiye ulaşmak için batma derinliği tek

başına yeterli olamayabilir. Bunun için deneysel olarak ölçülen  $h_f$  ve  $h_m$  parametreleri de kullanılabilir. Bu parametreler  $P-h$  eğrilerinden kolaylıkla elde edilebilir.  $h_f/h_m$  son indentasyon derinliğinin maksimum yükteki derinliğe oranlanması ile elde edilmektedir. Bu parametre için doğal sınırlamalar  $0 \leq h_f/h_m \leq 1$  şeklindedir. En düşük sınır elastik deformasyon davranışını, en yüksek sınır ise plastik deformasyon davranışını yansıtmaktadır (Oliver ve Pharr, 2004). Bolshakov ve Pharr'a (1998) göre  $h_f/h_m > 0.70$  olduğu zaman bir yığılma (pile-up) ile

karşılaşılabılır. Tablo 1'de listelenen değerlere bakıldığında Al7050 ve %5 B<sub>4</sub>C içeren Al7050 malzemelerde bütün yüklerde  $h_f/h_m$  değerleri kritik değeri (0.70) geçmiştir.  $h_{max} - h_f$  elastik penetrasyon derinliği ile ilişki ve elastik geri kazanım oranını temsil eden bir parametre olarak kullanılabilir (Kılıçaslan vd., 2014). Al7050 içerisine ilave edilen B<sub>4</sub>C parçacıkları ile elastik geri kazanım oranının düşük yüklerde nispeten düştüğü gözlenmiştir.

**Tablo 1.** Farklı yükler için hesaplanan  $h_{max} - h_f$ ,  $h_c$  ve  $h_f / h_{max}$  değerleri

Uygulanan yük (N)	Al7050			%5 B <sub>4</sub> C – Al7050		
	$h_{max} - h_f$ (µm)	$h_c$ (µm) Temas derinliği	$h_f / h_{max}$	$h_{max} - h_f$ (µm)	$h_c$ (µm) Temas derinliği	$h_f / h_{max}$
0.98	2.04	10.09	0.81	1.63	7.49	0.80
1.96	2.76	13.16	0.80	2.59	10.93	0.78
2.94	3.11	16.99	0.83	3.23	14.49	0.79

## Sonuçlar

Bu çalışma, sıcak ekstrüzyon yöntemi ile Al7050 serisi talaşlardan %5 B<sub>4</sub>C takviyeli ve takviyesiz malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiş ve üretilen malzemelerin mikro-mekanik özellikleri derinlik duyarlı sertlik ölçme testleri ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Al7050 talaşlarından üretilmiş malzemelerde %5 B<sub>4</sub>C katkısı sertlikte artışa neden olmuştur.
- Al7050 malzemenin sertlik değeri yükten bağımsız olarak ortalama 0,42 GPa iken, B<sub>4</sub>C içeren Al7050 kompozitin sertliği yaklaşık 0.65 GPa'dır.
- Al7050 numune ile %5 B<sub>4</sub>C içeren Al7050 numunelerin P-h eğrileri birbirleri ile örtüşmemektedir. Bu durum numunelerin mikro-deformasyon özellikleri ve mikro yapısal farklılıkları ortaya koymaktadır.
- Her iki malzeme türünde  $h_f / h_{max}$  değeri 0.70'in üzerinde elde edilmiştir.

## Teşekkür

Yazarlar, deneysel ve analiz çalışmalarında destek sağlayan Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve

Mimarlık Fakültesine ve Merkezi Araştırma Laboratuvarına teşekkürlerini sunar.

## Kaynaklar

- Bolshakov, A. P. G. M., and Pharr, G. M. (1998). Influences of pileup on the measurement of mechanical properties by load and depth sensing indentation techniques. *Journal of materials research*, 13(04), 1049-1058.
- Fogagnolo, J. B., Ruiz-Navas, E. M., Simón, M. A., & Martinez, M. A. (2003). Recycling of aluminium alloy and aluminium matrix composite chips by pressing and hot extrusion. *Journal of Materials Processing Technology*, 143, 792-795.
- Gronostajski, J. Z., Kaczmar, J. W., Marciniak, H., & Matuszak, A. (1997). Direct recycling of aluminium chips into extruded products. *Journal of Materials Processing Technology*, 64(1-3), 149-156.
- Gronostajski, J. Z., Kaczmar, J. W., Marciniak, H., & Matuszak, A. (1998). Production of composites from Al and AlMg2 alloy chips. *Journal of Materials Processing Technology*, 77(1), 37-41.
- Gronostajski, J. Z., Marciniak, H., & Matuszak, A. (1996). Production of composites on the base of AlCu4 alloy chips. *Journal of materials processing technology*, 60(1-4), 719-722.

- Gronostajski, J. Z., Marciniak, H., Matuszak, A., & Samuel, M. (2001). Aluminium–ferro-chromium composites produced by recycling of chips. *Journal of Materials Processing Technology*, 119(1), 251-256.
- Gronostajski, J., Marciniak, H., & Matuszak, A. (2000). New methods of aluminium and aluminium-alloy chips recycling. *Journal of materials processing technology*, 106(1), 34-39.
- Kılıçaslan, M. F., Uzun, O., Yılmaz, F., & Çağlar, S. (2014). Effect of different production methods on the mechanical and microstructural properties of hypereutectic Al-Si alloys. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 45(5), 1865-1873.
- Kölemen, U. (2006). Analysis of ISE in microhardness measurements of bulk MgB<sub>2</sub> superconductors using different models. *Journal of alloys and compounds*, 425(1), 429-435.
- Kuzman, K., Kacmarcik, I., Pepelnjak, T., Plancak, M., & Vilotic, D. (2012). Experimental consolidation of aluminium chips by cold compression. *Journal of Production Engineering*, 15(2), 79-82.
- Liu, Y., and Ngan, A.H.W., (2001). Depth Dependence of Hardness on Copper Single Crystals Measured By Nanoindentation, *Scripta Materialia*, 44, 237- 241.
- Oliver, W. C., and Pharr, G. M. (2004). Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology. *Journal of materials research*, 19(01), 3-20.
- Roshan, M. R., Mirzaei, M., & Jahromi, S. J. (2013). Microstructural characteristics and tensile properties of nano-composite Al 2014/4wt.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> produced from machining chips. *Journal of Alloys and Compounds*, 569, 111-117.
- Sahin, O., Uzun, O., Sopicka-Lizer, M., Gocmez, H., and Kölemen, U. (2008). Dynamic hardness and elastic modulus calculation of porous SiAlON ceramics using depth-sensing indentation technique. *Journal of the European Ceramic Society*, 28(6), 1235-1242.
- Samoshina, M., & Bryantsev, P. (2012). Mechanically alloyed composite materials based on the Al-Mg-Li system strengthened by oxides. In IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering* (Vol. 31, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
- Samuel, M. (2003). Reinforcement of recycled aluminum-alloy scrap with Saffil ceramic fibers. *Journal of Materials Processing Technology*, 142(2), 295-306.
- Sherafat, Z., Paydar, M. H., & Ebrahimi, R. (2009). Fabrication of Al7075/Al, two phase material, by recycling Al7075 alloy chips using powder metallurgy route. *Journal of Alloys and Compounds*, 487(1-2), 395-399.
- Sherafat, Z., Paydar, M. H., & Ebrahimi, R. (2009). Fabrication of Al7075/Al, two phase material, by recycling Al7075 alloy chips using powder metallurgy route. *Journal of Alloys and Compounds*, 487(1), 395-399.
- Tekkaya, A. E., Schikorra, M., Becker, D., Biermann, D., Hammer, N., & Pantke, K. (2009). Hot profile extrusion of AA-6060 aluminum chips. *Journal of materials processing technology*, 209(7), 3343-3350.
- Uzun, A., Asikuzun, E., Gokmen, U., Çinici, H. (2018). Vickers Microhardness Studies on B<sub>4</sub>C Reinforced/Unreinforced Foamable Aluminium Composites. *Trans Indian Inst Met.*, 71, 327-337.
- Wan, B., Chen, W., Lu, T., Liu, F., Jiang, Z., & Mao, M. (2017). Review of solid state recycling of aluminum chips. *Resources, Conservation and Recycling*, 125, 37-47.



## Micromechanical Properties of 5% B<sub>4</sub>C Reinforced Composite Materials Produced by Hot Extrusion Method using Al7050 Series Chips

### Extended abstract

The direct recycling of aluminum alloy chips involves steps such as separation of chips, reduction of dimensions in the cutting device, ball milling, cold pressing and hot extrusion. Binder and / or reinforcement phase additives are added to the prepared chips. The prepared mixture is milled to a specific period in the ball mill and the mixture is provided. Then the mixture is compacted by pressing cold or hot. Sintering or extrusion process can be applied to the obtained product considering the pore volume or density.

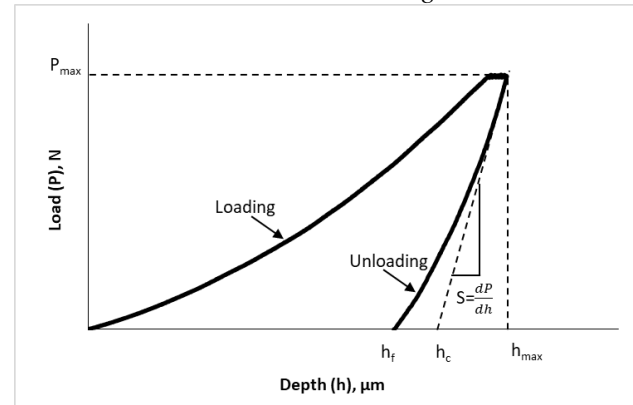
The wastes of aluminum materials are in the form of chip resulting from the processing of semi-finished products. Due to its spiral-shaped forms, recycling with conventional methods can be difficult. Some alternative methods have been proposed by researchers using powder metallurgy techniques for the recycling of aluminum chips.

In this study, micro-mechanical properties of 5% B<sub>4</sub>C reinforced composite materials produced by hot extrusion method of Al7050 series chips were analyzed by depth-sensitive hardness testing. Experimental studies have begun with chip production from the Al 7050 series materials (bulk). Milling machine was used for this process. The chips were washed with acetone and alcohol, then were dried. Then, 5% by weight of B<sub>4</sub>C particles were added to the Al7050 series chips, and a homogeneous mixture was obtained in the ball mill for 5 hours. The resulting mixture was compacted at a pressure of 600 MPa and a temperature of 550°C. The billets produced by the hot pressing method in the study were subjected to the extrusion process after being heated for 2 hours at 550°C. Depth sensing indentation tests of the produced samples were performed using a depth sensing tip of the Vickers type (Bruker UMT-2 SYS). The load-unloading (P-h) curves were obtained under three different maximum loads (0.98, 1.96 and 2.94 N) and the waiting time at each peak load was set to 10 s.

The graph on the side shows a schematic representation of the penetration depth ( $h$ ) at the contact surface in relation to the applied force ( $P$ ) during the loading and unloading in the depth-sensitive hardness measurement test. The important parameters on this curve are the peak load ( $P_{max}$ ), the maximum depth ( $h_{max}$ ), the final or residual depth ( $h_f$ ) and contact depth after unloading ( $h_c$ ). The hardness ( $H$ ) can be obtained from loading and unloading data using the relations in Eq. 1 given below.

$$H = \frac{P_{max}}{A}; \quad A = 26.43h_c^2 \quad (1)$$

Where  $A$  is the contact area at the given load.



In the P-h curves given for both specimen types in all three loads (0.98, 1.96 and 2.94 N), the loading regions of the curves relatively overlap with each other. This is an indication that the specimens have elastic and plastic deformation mechanisms with similar characteristics (Kölemen, 2006, Sahin et al., 2008). When the Al7050 samples and Al7050 samples containing 5% B<sub>4</sub>C are compared with each other, the loading curves do not overlap with each other. This is due to the micro-deformation properties and micro-structural differences of the samples. It is an indication that the added 5% B<sub>4</sub>C particles have an effect on the elastic-plastic behavior of the samples produced from the Al 7050 chips.

According to the results, the addition of 5% B<sub>4</sub>C in the materials produced from Al7050 chips caused an increase in hardness. The hardness of 5% B<sub>4</sub>C reinforced Al7050 composite is about 0.65 GPa while the Al7050 material has an average hardness value of 0.42 GPa. The  $h_f / h_{max}$  value was obtained above 0.70 for both material types.

**Keywords:** Al7050 series chips, hot extrusion, B<sub>4</sub>C, mechanical property



## Şanlıurfa ilinde yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımının modellenmesi

**Hakan KARAKAYA\***

Batman Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman

[hakan.karakaya@batman.edu.tr](mailto:hakan.karakaya@batman.edu.tr), ORCID: 0000-0001-9242-6233 Tel: (488) 217 41 15

**Ali Serkan AVCI**

Batman Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Batman

[aliserkan.avci@batman.edu.tr](mailto:aliserkan.avci@batman.edu.tr), ORCID: 0000-0002-0761-8642

**Umut ERCAN**

Batman Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Batman

[umut.ercan@batman.edu.tr](mailto:umut.ercan@batman.edu.tr), ORCID: 0000-0003-1063-4480

**Mehmet Ali KALLIOĞLU**

Batman Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Batman

[mehmetali.kallioglu@batman.edu.tr](mailto:mehmetali.kallioglu@batman.edu.tr), ORCID: 0000-0002-6874-1564

Geliş : 04.06.2018, Kabul Tarihi: 28.09.2018

### Öz

*Bu çalışma ile Şanlıurfa ilinin iklim özellikleri ve topografik yapısı göz önüne alınarak yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunun tespit edilebilmesi için literatürde yer alan 5 farklı model incelenmiştir. Sonuçlar istatistiksel karşılaştırma metotları, belirlilik katsayısı ( $R^2$ ), ortalama yüzde hata (MPE), sapma hatası (MBE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), bağıl hata karesi (SSRE), bağıl standart hata (RSE), ortalama karekök hatası (RMSE), bağıl hata yüzdesi ( $e$ ) ve t-istatistik (t-sat) ile olmak üzere dokuz farklı istatistik yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Şanlıurfa ili için en uygun yaklaşım için bir sonuç verilmiştir. İstatistiksel hata sonuçlarına göre Cheegar ve Chibani Modeli yatay düzleme gelen global güneş ışınımı için Şanlıurfa ilinde kullanılacak en uygun model olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak Şanlıurfa ili toplam güneş radyasyonu tahmini için polinom modelin tercih edilmesi önerilmiştir. Bu model verilerine göre Şanlıurfa ili için yıllık güneş enerjisi potansiyeli  $4332,020 \text{ W/m}^2 /\text{ay}$  olarak belirlenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Matematiksel Modelleme, Toplam Güneş Işınımı, İstatistik, Güneşlenme Süresi.

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.430522

## Giriş

Doğal ve tükenmeyen bir füzyon reaktörü olan güneş enerjisi, yeni ve yenilenebilir enerji kaynağıdır. Çevre kirletici atıkların bulunmaması, kolay uygulanabilirliği ve kompleks bir teknolojiye gerek duymaması sebebiyle, güneş enerjisi özellikle son zamanlarda üzerinde giderek yoğunlaşan çalışmaların yapıldığı bir alandır. Güneş enerjisi, dünyadaki hayatın temelini oluşturur, bol ve temiz bulunan bir kaynaktır Güneş doğal ve tükenmeyen bir füzyon reaktörüdür ve uzaya elektromanyetik ışınım biçiminde yayılır. Güneş'ten Dünya'ya gelen enerji, yeryüzünde bir yılda kullanılan toplam enerjinin yaklaşık 20 bin katıdır (Varınca ve Varank, 2005) (Anonim, 2011a). Ayrıca yeryüzüne yıllık olarak düşen güneş ışınım enerjisinin miktarı ise yeryüzünde şu zamana kadar tespit edilmiş olan fosil yakıt yatakların yaklaşık 160 katı kadardır. Buna ek olarak yeryüzündeki fosil enerjisi, nükleer ve hidroelektrik santrallerin bir yılda ürettiği enerji miktarından 15000 kat kadar daha fazladır (Varınca ve Gönüllü, 2006).

Güneş enerjisinin atmosfer dışındaki ışınım değeri, yaklaşık olarak  $1370 \text{ W/m}^2$ 'dir. Dünyanın şekli nedeniyle güneş enerjisinin yeryüzündeki dağılımı büyük farklılıklar göstermektedir. Yeryüzüne düşen ortalama güneş enerjisi  $0-1100 \text{ W/m}^2$  seviyesindedir. Güneş ışınım enerjisinin %46'sı spektrumun kızılötesi bölgesinde, %45'i görünür ışık bölgesinde, geri kalan miktarı ise mor ötesinde bulunur (Anonim, 2009).

Güneş enerjisiyle çalışan fotovoltaik sistemler (PV), düzlemsel kollektörler ve diğer güneş enerjisi toplayıcı sistemlerin verim ve tasarımı için bir bölgeye ait güneş ışınım verilerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Dünyada güneşlenme süresi birçok meteoroloji istasyonunda ölçülmektedir. Aylık ortalama günlük global güneş ışınımı tahminleri elde edilen bu verilerin korelasyonları ile yapılabilmekte ve bu tahminler için ölçülen verilerin güneşlenme süresine bağlı birçok modeli, çeşitli Angstrom-tip eşitliklerden türetilmiştir. Güneş radyasyonun seviyesini

tespit etmek için birçok deneysel model geliştirilmiştir. Ayrıca bu deneysel modelleri elde etmek için bulutluluk, güneşlenme süresi ve çevre sıcaklığı gibi farklı parametreler kullanılmaktadır (Çil, 2011).

Bakırcı (2008), beşinci dereceden polinom ilişkiler ile beraber güneşlenme süresine bağlı olarak aylık ortalama değerler ile farklı Angström-tip eşitlikleri türetmiştir. Kalli vd. (2015), Güneş ışınımın tahminine yönelik geliştirilen ampirik bağıntıları Niğde, Mardin, Diyarbakır ve Balıkesir illeri için incelemiştir. İncelemesi yapılan modellerin istatistiksel açıdan uyumluluğu test edilip ölçümlere en yakın modelin tespitinde bulunmuştur. Şen (2007), Türkiye'de bulunan 8 farklı il için toplam güneşlenme süresinin hesaplanması amacıyla yatay düzlemde doğrusal olmayan Angström-tip bir model bulmuştur. Li vd. (2010), Tibet'in Changdu, Geer, Lasa ve Naqu istasyonlarında ölçülen değerleri 8 farklı model kullanarak incelemişlerdir. Elde edilen değerleri ölçüm sonuçlarıyla istatistiksel açıdan karşılaştırmışlardır. Düzen ve Aydın (2012), Türkiye'de yer alan Van ilinin 7 ayrı istasyonundan elde edilen güneş ışınım verileri ile yatay düzleme düşen güneş ışınımını Angström-Prescott lineer regresyondan türetilen modellerle farklı istatistiksel açılardan karşılaştırmasını yapmışlardır. Katiyar ve Pandey (2010), 2001-2005 yılları arasında Hindistan'da 5 farklı şehirdeki güneş radyasyon verilerini kullanılmıştır. Bu verileri her bölgeye özgü Angström tipi 1. 2. ve 3. dereceden güneş ışınımı modelleri geliştirmiştir. Elde edilen modellerle ölçülen değerlerin istatistiksel yönden aylık toplam güneşlenme ışınım verileri karşılaştırmıştır.

Bu çalışma ile Şanlıurfa ilinin güneş ışınımın tahminlerine yönelik geliştirilen ampirik bağıntıların istatistiksel açıdan uyumluluğu incelenmiş ve en uygun model tespit edilmiştir. Ayrıca Şanlıurfa İli için iklim verileri göz önüne alınarak oluşturulan beş farklı model geliştirilmiş ve literatüre kazandırılmıştır.

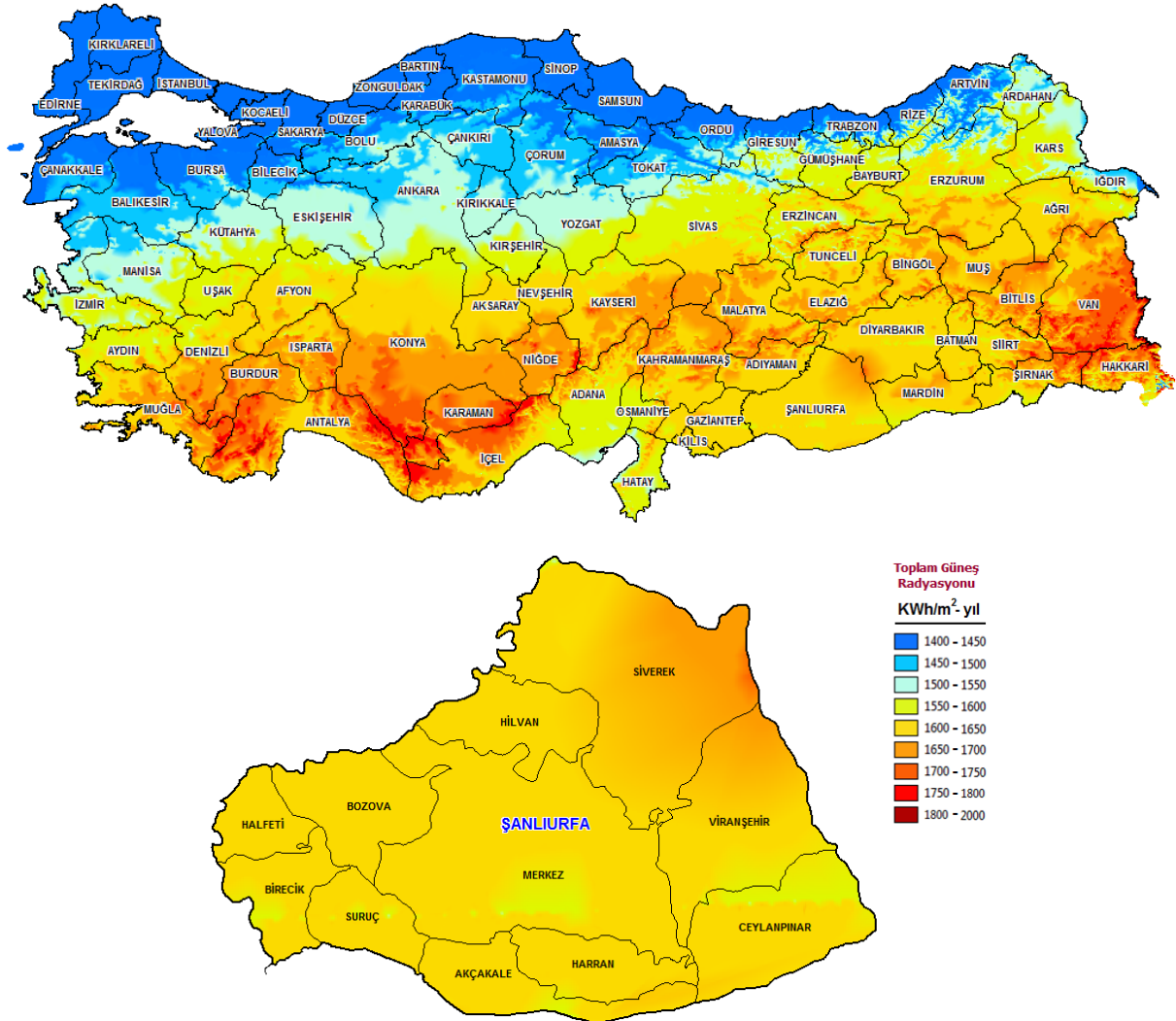
## Materyal ve Yöntem

Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin yayınladığı rapora göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat ortalama toplam ışınım şiddeti 1,311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl olduğu

belirlenmiştir. Türkiye'nin en yüksek güneşli bölgesi Tablo 1'de gösterildiği gibi 2993 saat ve 1460 kWh/m<sup>2</sup> yıl ile Güneydoğu Anadolu bölgesidir (Şen, 2004; Anonim, 2003). Bu bölgenin güneşlenme süresinin en fazla olduğu illerden biride Şanlıurfa'dır (Şekil 1).

**Tablo 1** Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı

Bölge	Güney Doğu Anadolu	Akdeniz	Doğu Anadolu	İç Anadolu	Ege	Marmara	Karadeniz
Toplam Güneş Enerjisi (Kwh/M <sup>2</sup> -Yıl)	1460	1390	1365	1314	1304	1168	1120
Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)	2993	2956	2664	2628	2738	2409	1971



**Şekil 1.** Türkiye ve Şanlıurfa'nın güneş enerjisi haritası

Şanlıurfa ili 37,8 kuzey enlemi ile 38,46 doğu boylamındadır. Yüz ölçümü 18,584 km ve ortalama yükseltisi 518 metredir. Batıda Gaziantep, doğuda Mardin, kuzeyinde Adıyaman ve Diyarbakır illeri bulunmaktadır. Kuzey tarafında bulunan dağlar ve yüksek tepeler genellikle güney tarafına doğru gidildikçe alçalır. Büyük ovalar ise bölgenin güney yakası kısmındadır.

Şanlıurfa ilinin iklim tipi karasal iklimdir. Yaz dönemi bölgede uzun ve sıcak, kış dönemi ise soğuk geçer. İlin ortalama sıcaklığı 18,2 °C'dir. Bu değer Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin

ortalama sıcaklığında 2 °C fazladır. Uzun yıllara göre ortalama yıllık yağış miktarı ise 463,1 mm ile bölgenin en az yağış alan illerinden biridir. Bu nedenle bölgenin güney kısmında çöl iklimi hakimdir. Ayrıca kuzey kısımlarda yükseltilerin yoğun olması nedeniyle orografik yağışlar görülmektedir. İlde ortalama rüzgar hızı 2,4 m/s ve kuzeybatı rüzgarları egemendir. Buna ek olarak ortalama bağıl nem değeri ise % 49 ile Türkiye'nin en düşük nem ortalamasına sahip illerinden biridir. İl 8,3 saat ortalama güneşlenme süresi ile bölgenin en fazla güneş alan illerinden biridir. (Yeşilnacar ve Gülşen, 1999)

**Tablo 2** Şanlıurfa İline Ait (1950 - 2014) Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (DMİ)

Aylar	Sıcaklık (°C)			Ort. Güneşlenme süresi(saati)	Ort. Yağışlı Gün Sayısı	Ort. Aylık Toplam Yağış Miktarı (kg/m2)
	Ort.	En Yüksek	En Düşük			
Ocak	5,6	10	2,2	4,1	12,4	84,8
Şubat	6,9	11,9	2,9	5,1	11	70,5
Mart	10,9	16,5	6	6,2	10,9	65,9
Nisan	16,2	22,3	10,5	7,5	9,6	49,6
Mayıs	22,1	28,6	15,4	10,1	6,7	29,4
Haziran	28,1	34,6	20,7	12,2	1,6	4
Temmuz	31,9	38,7	24,3	12,3	0,3	0,6
Ağustos	31,3	38,3	24	11,4	0,2	0,8
Eylül	26,8	33,8	20	10,1	0,9	2,9
Ekim	20,1	26,9	14,6	8,6	5	25,3
Kasım	12,6	18,5	8,4	5,6	8	46
Aralık	7,5	11,9	4,1	4	11,3	79,6

Şanlıurfa ili için yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük global güneş ışınımının tespit edilebilmesi için literatürde yer alan bazı modeller araştırılmıştır.

Model denklemlerin güneşlenme süresine bağlı genel formülünde, H aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım, H<sub>o</sub> aylık ortalama atmosfer dışı günlük güneş ışınım, S güneşlenme süresi, S<sub>o</sub> ise maksimum aylık ortalama günlük güneşlenme süresini ifade eder. Denklem 1'de verilen a ve b değerleri regresyon sabitleridir ve Angström katsayıları olarak da adlandırılırlar.

$$\frac{H}{H_o} = a + b \left( \frac{S}{S_o} \right) (W/m^2) \quad (1)$$

Denklem 2'de verilen formülde, H<sub>o</sub> yatay düzleme gelene günlük atmosfer dışı güneş radyasyonu, G<sub>sc</sub> güneş sabiti, k dünyanın yörünge eksantrik düzeltme faktörü, δ deklinasyon açısı, Ø bölgenin enlemi ve ω<sub>s</sub> güneş batış saat açısıdır.

$$H_o = \left( \frac{24}{\pi} \right) \cdot G_{sc} \cdot f \cdot \left[ \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \left( \frac{\pi}{180} \right) \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta \cdot \omega_s \right] \quad (2)$$

Güneş sabiti genel olarak 1367 W/m<sup>2</sup> kabul edilir. Dünyanın yörünge eksantriklik düzeltme faktörü yeryüzüne gelen güneş ışınımı, atmosfer dışına gelen güneş ışınımına ilişkili olarak bulunur. Güneş sabitinin düzeltme faktörü (k) günlere göre değişim göstermektedir, n yıl içindeki gün sayısı (1-365) olmak üzere 3 nolu eşitlikten hesaplanmaktadır.

$$k = 1 + 0,033 \cos\left(360 \frac{n}{360}\right) \quad (3)$$

Güneş sapması ( $\delta$ ) eşitlik (4) ile hesaplanır. Bu formüldeki n, 1 Ocaktan itibaren deklinasyon açısının hesaplanacak güne kadar olan gün sayısını temsil etmektedir. Güneş ışınım değerleri bir ayda bulunan bütün günler yerine, aylık belirlenen ortalama gün sayısı üzerinden aylık ortalama deklinasyon açısı hesaplanmaktadır (Duffie ve Beckman, 1991).

$$\delta = 23,45^\circ \sin(360(n + 284)/365) \quad (4)$$

Güneşin ortalama doğuş açısı ( $w_s$ ), enleme ve güneş sapmasına bağlı olarak eşitlik (5) ile belirlenir.

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (5)$$

$$H_o = \left(\frac{24}{\pi}\right) \cdot Gsc \cdot f \cdot \left[\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta \cdot \omega_s\right] (W/m^2) \quad (6)$$

Denklem 7’te  $S_o$  saat cinsinden gün uzunluğu,  $\omega_s$  saat açısına bağlı yıl boyunca çeşitli dönemlerde farklılık göstermektedir.

$$S_o = \left(\frac{2}{15}\right) \cdot \omega_s = \left(\frac{2}{15}\right) \cdot \arccos(-\tan \delta \cdot \tan \phi) \quad (7)$$

H değerini elde etmek için dünyanın birçok yerinde farklı tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin çoğu hesaplanmak istenen bölgenin parametrelerini içerdiğinden belirli bir konuma özgüdür. Aşağıda farklı bölgelere özgü beş adet hesaplama modeli belirlenmiştir.

- 1) Veeren ve Kumar Modeli
- 2) Cheegar ve Chibani Modeli
- 3) Ampratwum ve Dorvlo Modeli
- 4) Bahel Modeli
- 5) Luhanga ve Andringa Modeli

Global güneş ışınımının tahmin modellerinin verimlerini analiz etmek için, literatürde birçok istatistiksel test yöntemi bulunmaktadır. Bunların içinde en yaygın olanları; belirlilik katsayısı ( $R^2$ ), ortalama sapma hatası (MBE), ortalama yüzde hata (MPE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), bağıl standart hata (RSE), karekök hatası (RMSE), bağıl hata karesi (SSRE), bağıl hata yüzdesi (e) ve t-istatistik (t-sat) hesaplamalarıdır.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (ci-ca)x(mi-ma)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ci-ca)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (mi-ma)^2}} \quad (8)$$

$$MPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{mi-ci}{mi}\right)}{n} \times 100 \quad (9)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left|\frac{mi-ci}{mi}\right|}{n} \times 100 \quad (10)$$

$$SSRE = \sum_{i=1}^n \left(\frac{mi-ci}{mi}\right)^2 \quad (11)$$

$$RSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{mi-ci}{mi}\right)^2}{n}} \quad (12)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (mi - ci) \quad (13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ci-mi)^2} \quad (14)$$

$$t - stat = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (15)$$

$$e = \left(\frac{mi-ci}{mi}\right) \times 100 \quad (16)$$

## Sonuçlar ve Tartışma

Bir bölge için yatay yüzeye gelen günlük güneş radyasyonu ( $H_o$ ) ve olası maksimum aylık ortalama günlük güneşlenme süresi ( $S_o$ ) değerleri coğrafi konuma ve enleme bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Aylık ortalama günlük

güneşlenme süresi olan (S) değeri için veriler meteoroloji istasyonlarından belirlenebilmektedir. Modellerin hesaplanan ( $H_0$ ) ve ( $S_0$ ) sabit sayıları meteorolojik ölçümle elde edilen (H) ve (S) değerleri yardımıyla regresyon yapılarak Tablo 3'te hesaplanmıştır.

**Tablo 3** Şanlıurfa iline ait meteorolojik değerler. (EİE ve DMİ istasyonlarında 1985 – 2006)

Aylar	H ( $W/m^2$ )	$H_0$ ( $W/m^2$ )	S (SA)	$S_0$ (SA)	Ws
Ocak	1940	5317,10	4,58	9,75	73,16
Şubat	2480	6639,48	5,62	10,66	79,95
Mart	4090	8296,34	6,92	11,75	88,16
Nisan	5080	9971,89	8,14	12,96	97,21
Mayıs	6180	11121,94	9,96	13,99	104,94
Haziran	6830	11577,43	12,24	14,51	108,84
Temmuz	6580	11326,26	12,42	14,27	107,08
Ağustos	5940	10387,84	11,66	13,39	100,44
Eylül	5020	8875,95	10,11	12,22	91,68
Ekim	3790	7106,19	7,71	11,01	82,63
Kasım	2420	5616,78	5,87	9,99	74,94
Aralık	1800	4943,725	4,40	9,49	71,18

**Tablo 4** Şanlıurfa ili için belirlenen modeller

Modeller	a	b
Model 1 Veeran ve Kumar Model	0,309000	0,368000
Model 2 Cheegar ve Chibani Model	0,332600	0,311000
Model 3 Ampratwum ve Dorvlo Model	0,180000	0,620000
Model 4 Bahel Model	0,175000	0,552000
Model 5 Luhanga ve Andringa Model	0,241000	0,488000

Şanlıurfa ili için global güneş ışınımın tahmin modellerinin verileri istatistiksel açıdan karşılaştırıldığında ölçüm sonuçlarına en yakın değer Cheegar ve Chibani Modeli (Model 2) olduğu belirlenmiştir. Bu Modelin  $R^2$ 'si 0,9912'dir. Bu değer Şanlıurfa ilinin ışıma değerleri ile nispeten dengelidir. Analizler sonucu 5 ayrı model için aylıksal değerler incelendiğinde Mayıs ayı en yüksek uyum, Şubat ayı ise en düşük uyumu vermiştir. Aylara

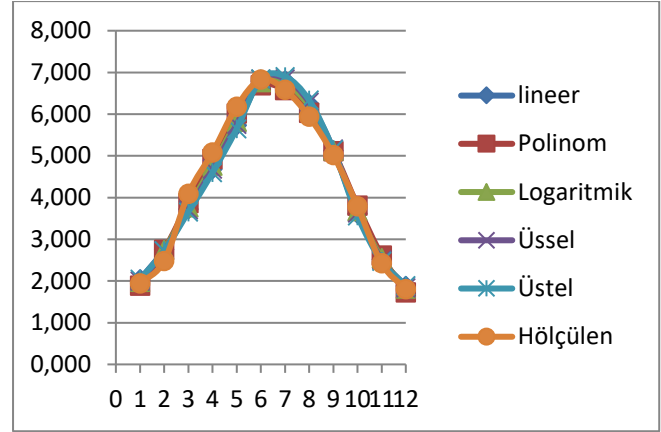
göre değişim göz önüne alındığı zaman aylık bağıl hata yüzdesi değeri 0,30 ile -34,66 değeri arasında değişmektedir. Geriye kalan modeller arasındaki uyumluklar incelendiğinde, Hindistan'da Madras ve Kodaikanal şehirlerine özgü geliştirilen Veeran ve Kumar Modeli (Model 1), Bostvana'da bulunan Gaborone'ye özgü geliştirilen Luhanga ve Andringa Modeli (Model 5), Bahel Modeli (Model 4) ve Umman'a göre geliştirilen Ampratwum ve Dorvlo Modeli (Model 3) olarak sıralayabiliriz.

**Tablo 5** Modellerin İstatistiksel Analizi

Aylar	Model 1 % e	Model 2 % e	Model 3 % e	Model 4 % e	Model 5 % e
Ocak	-32,05	-31,18	-29,12	-19,00	-28,85
Şubat	-34,66	-32,93	-35,69	-24,75	-33,39
Mart	-6,62	-4,60	-10,54	-1,41	-7,16
Nisan	-6,02	-3,62	-11,76	-2,39	-7,46
Mayıs	-2,75	0,30	-11,82	-2,21	-5,88
Haziran	-4,99	-0,84	-19,15	-8,58	-10,62
Temmuz	-8,29	-3,82	-23,82	-12,78	-14,56
Ağustos	-10,07	-5,51	-25,87	-14,65	-16,44
Eylül	-8,45	-4,29	-22,49	-11,66	-13,97
Ekim	-6,22	-3,17	-15,10	-5,24	-9,21
Kasım	-21,89	-19,60	-26,31	-15,87	-22,47
Aralık	-31,72	-30,95	-28,38	-18,35	-28,32
R2	0,9901	0,9912	0,9813	0,9821	0,9862
MPE %	-	-11,6835	-21,8278	-11,4067	-16,528
MAPE	14,4766	11,7342	21,8278	11,4067	16,5281
SSRE	0,4106	0,3507	0,6452	0,2190	0,4271
RSE	0,1850	0,1710	0,2319	0,1351	0,1887
MBE	-	-314,8123	-	-	-98,913
RMSE	456,035	394,996	875,0460	424,411	640,779
t-stat	7,9104	4,3766	7,4731	5,3406	8,719

Geliştirilen beş farklı model istatistiksel açıdan incelendiğinde; Polinom Model 0,9939 değeri ile beş farklı model arasında Şanlıurfa ili için en uygun katsayıyı vermektedir. Belirleme

katsayısının ( $R^2$ ) bir sayısına en yakın değeri modelin ölçüm verileri için ne derecede uyumlu olduğunu gösterir. Bu modeli sırasıyla logaritmik, lineer, üssel ve üstel model takip etmektedir. Aylıksal bazda hata analizi incelendiğinde polinom modelin Mart, Nisan, Mayıs, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim ayları en yakın sonuçları verirken, Logaritmik modelin Ocak ve Aralık ayları, Üssel modelin Şubat ve Haziran ayları ve Üstel modelin ise sadece Kasım ayı en iyi sonuçları vermiştir.



**Tablo 6** Geliştirilen Modellerin İstatistiksel Analizi

Aylar	Lineer Model % E	Polinom Model % E	Logaritmik Model % E	Üssel Model % E	Üstel Model % E
Ocak	-5,03	2,59	-1,89	-2,67	-5,23
Şubat	-10,99	-10,65	-10,80	-9,72	-9,85
Mart	9,12	5,55	7,90	9,44	10,65
Nisan	7,86	3,04	6,26	7,85	9,53
Mayıs	7,31	2,64	5,86	6,89	8,63
Haziran	0,57	2,00	0,87	-0,04	-0,16
Temmuz	-3,46	0,13	-2,61	-4,06	-4,87
Ağustos	-5,17	-1,47	-4,30	-5,79	-6,63
Eylül	-2,15	-1,84	-2,15	-2,78	-2,53
Ekim	4,66	-0,38	3,08	4,27	6,12
Kasım	-3,83	-7,85	-5,20	-3,45	-2,09
Aralık	-4,36	4,16	-0,83	-1,87	-4,73
R2	0,9793	0,9939	0,9857	0,9792	0,9710
Mpe %	-0,4556	-0,1742	-0,3163	-0,1618	0,0956
Mape	5,3755	3,5249	4,3109	4,9018	5,9171
Ssre	0,0444	0,0256	0,0324	0,0391	0,0541
Rse	0,0608	0,0462	0,0520	0,0571	0,0672
Mbe	21,3162	13,8136	16,6268	17,3948	29,3
Rmse	256,8603	144,6186	213,9058	257,1066	04,971
t-stat	0,2762	0,3183	0,2586	0,2249	0,3201

Beş farklı model için yatay düzleme gelen toplam güneş ışınımı değerinin aylıksal değişimi Şekil 1’de gösterilmiştir. Hölçülen ile modellerden öngörülen güneş ışınımı değerleri arasındaki fark yok denecek kadar azdır.

**Şekil 1.** Geliştirilen modellerin aylıksal karşılaştırılması

Hesaplamalar sonucu belirlenen matematiksel modellerin listesi aşağıda verilen Tablo 7’de gösterilmiştir. Her bir model (Lineer, Polinom, Logaritmik, Üssel ve Üstel) için amprik a, b, c katsayıları ve istatistiksel uyumluluk  $R^2$  değeri belirlenmiştir.

**Tablo 7** Şanlıurfa iline özgü geliştirilen modeller

Modeller	a	b	c	$R^2$
Lineer	0,1278	0,544	-	0,8846
	$H/H_o = 0,544 S/S_o + 0,1278$			
Polinom	-0,4366	2,2942	-1,2936	0,9466
	$\frac{H}{H_o} = -1,2936 \left(\frac{S}{S_o}\right)^2 + 2,2942 \left(\frac{S}{S_o}\right) - 0,4366$			
Logaritmik	0,3638	0,6468	-	0,9176
	$H/H_o = 0,3638 \ln \frac{S}{S_o} + 0,6468$			
Üssel	0,6736	0,7761	-	0,8998
	$H/H_o = 0,6736 (S/S_o)^{0,7761}$			
Üstel	0,2234	1,1553	-	0,8595
	$H/H_o = 0,2234 \exp^{1,1553(S/S_o)}$			

Bu çalışmada Şanlıurfa ili için yatay düzleme gelen güneş ışınımı için basit hesaplama yöntemleri belirlenmiş ve elde edilen değerler analiz edilmiştir. Bu değerler göre Şanlıurfa ili için en uygun modelin Cheegar ve Chibani Modeli olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak



ölçülen değerlerin analizine göre istatistiksel veriler içerisinde bulunan bağıl hata yüzdesi, yüzdesel MPE, MBE, MAPE, RMSE ve t-stat değerleri bu model için oldukça uygun değerdendirler. İstatistiksel hata sonuçlarına göre polinom bağıntı ile Şanlıurfa ili için yatay düzleme gelen global güneş ışınımının tahmininde en makul değerler elde edilmiştir. Ayrıca Cheegar ve Chibani Modeli gerçek meteorolojik veriler ile karşılaştırıldığında geliştirilen modeller arasındaki farkın çok az oranda olduğu belirlenmiştir. Ama en başarılı modelin polinom model olduğu görülmüştür. Bu çalışma Sonuç olarak Şanlıurfa ili toplam güneş radyasyonu tahmini için polinom modelin tercih edilmesi önerilmiştir. Bu model verilerine göre Şanlıurfa ili için yıllık güneş enerjisi potansiyeli 4332,020 W/m<sup>2</sup> /ay olarak belirlenmiştir.

## Kaynaklar

- Anonim, 2003. Türkiye Çevre Vakfı, “Türkiye’nin Çevre Sorunları 2003”, Ankara, 2003.
- Anonim 2009 Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi “Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi” raporu. Sf.2 2009.
- Anonim,2011“<http://www.istanbulcevor.gov.tr/pdf/cdr2005/03BDogalKaynaklar.pdf>”
- Bakirci K. Correlations for estimation of solar radiation on horizontal surface. Journal of Energy Engineering 2008;134(4):130–4.
- Çil D. “Samsun’da Yatay Düzleme Gelen Günlük Tüm, Yayılı ve Direkt Güneş Işınımı Hesaplama Modeli” (2011). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Düzen, H., and Aydın, H. “Sunshine-based estimation of global solar radiation on horizontal surface at Lake Van region (Turkey)”, Energy Conversion and Management, 58, 35-46., 2012
- Kallioğlu, M. A. (2014). Niğde İli İçin Yatay Düzenleme Gelen Günlük Tüm, Yayılı Ve Direkt Güneş Işınımını Hesaplama Modeli Geliştirilmesi (Doctoral dissertation, Niğde Üniversitesi).
- Kallioğlu M. A., Karakaya H., Avcı A. S., “Analysis Of Sunshine Hours And Global Solar Radiation For Mardin Of Turkey” 3. International Symposium On Innovative Technologies In Engineering and Science Valencia, Spain, 3-5 June 2015.
- Kallioğlu M. A., Avcı A.S., Ercan U., Karakaya H, Durmuş A., “Angstrom-Tip Güneş Işınım Tahmin Modellerinin Balıkesir İçin Geliştirilmesi”, ULIBTK’15 20. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi BALIKESİR, Türkiye, 02-5 Eylül 2015.
- Kallioğlu M. A., Ercan U., Şevik S., Fidan C., “Investigating Solar Energy Potential Of Diyarbakır Province”, 3.International Symposium On Innovative Technologies In Engineering and Science Valencia, Spain, 3-5 June 2015.
- Katiyar AK, Pandey CK. Simple correlation for estimating the global solar radiation on horizontal surfaces in India. Energy 2010;1–6.
- Li H, Maa W, Lian Y, Wang X, Zhao L. “Global solar radiation estimation with sunshine duration in Tibet, China”, Renewable Energy 36:3141-5, 2011
- Sen Z. Simple nonlinear solar irradiation estimation model. Renewable Energy 2007;32:342–50.
- Şen, Z., “Türkiye’nin Temiz Enerji İmkânları”, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan-Mayıs-Haziran, 6-12, 2004.
- Yeşilnacar, M.İ., Gülşen H., 1999 “Şanlıurfa ve Çevresinin İklim Özellikleri ve Atatürk Barajının Yöre İklimi Üzerine Etkileri 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, 10-12 Mayıs 1999, Ankara
- Varınca, K. B., Varank, G., “Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri”, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi ,İçel, 24–25 Haziran 2005 16
- Varınca, K. B., Gönüllü, M. T., “Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma” I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir, 270-275 (2006).

## **Modelling on Global Solar Radiation on Horizontal Surface in Şanlıurfa (Turkey)**

### **Extended abstract**

*Renewable and clean energy source of the sun, radiation emitted as a proportion of even very small photon energy can compensate all the energy needs worldwide. Various technologies are being developed in order to this energy make available. Solar radiation data for a region, has a great importance in designing solar powered systems. In this study, five different models in the literature to determine the monthly average daily global solar radiation from the horizontal plane was examined, considering the climate and topography for Şanlıurfa city.*

*Results statistical methods of comparison, certainty coefficient ( $R^2$ ), mean percentage error (MPE), the average deviation error (MBE), the mean absolute percentage error (MAPE), relative squared error (SSRIs), the relative standard error (RSE), root mean square error (RMSE) the relative percentage error ( $e$ ) and the  $t$ -statistic ( $t$ -sat), including the method was compared with nine different statistics. Polynomial equation has been determined as the best approach for Şanlıurfa.*

*According to statistical error, Veera and Gambling Model to be used in Şanlıurfa for the global solar radiation from the horizontal plane has been identified as the most suitable model. This model is followed by the Model 1 developed by Veeren and Kumar special to India, and Model 5 developed by Luhanga and Andringa special to the Botswana, and Model 4 developed by Bahel and Model 3 developed by Ampratwum and Dorvlo special to Oman, respectively.*

*When the results of analyses are examined, it can easily be seen that the most appropriate model for Şanlıurfa province Polynomial model. This model is followed by Logarithmic, Linear*

*Exponential and Exponential Power models, respectively. When this model is observed from the angle of measurement results and compliance, its  $R^2$  is 0,9939. It is accepted by everybody from general perspectives in present literature since this rate is very close to the other.*

*It is understood that the Mathematical model being able to meet appropriate solar radiation estimation in the best way in Şanlıurfa climate geography was Polynomial equation.*

**Keywords:** *Mathematical Modeling, Total Solar Radiation, Statistics, Sunshine Duration*



## Ram makinesinde kurutma prosesinin enerji verimliliği analizi

**Ahmet Erhan AKAN\***

Namık Kemal Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Tekirdağ  
[aeakan@nku.edu.tr](mailto:aeakan@nku.edu.tr) ORCID: 0000-0003-1806-7943, Tel: (0282) 250 35 46

**Derya Burcu ÖZKAN**

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul  
[tumer@yildiz.edu.tr](mailto:tumer@yildiz.edu.tr) ORCID: 0000-0002-1049-9437

Geliş: 19.06.2018, Kabul Tarihi: 24.07.2018

### Öz

Tekstil sektöründe ram makineleri, kumaşların makine içerisinde enine bir şekilde paletler tarafından tutturulduğu, bir çift yürüyen zincirle kumaşın hareketinin sağlandığı ve bu esnada kumaşa sıcak havanın gönderildiği kurutma makineleridir. Bu çalışmada, 10 kabinli bir ram makinesinin kurutma prosesinde, enerji verimliliğini arttırmak hedeflenerek, gerçek üretim şartlarında deneysel çalışma yapılmıştır. Deneyler üç farklı kurutma havası sıcaklığında (110 – 130 – 150 °C) ve 10 m/d kumaş ilerleme hızında, %95 pamuk + %5 likra içerikli kumaş kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen verilerden yararlanılarak, her kabinde gerçekleşen ısı-kütle transfer katsayıları, buharlaşma miktarı, taşınım yolu ile kumaşa aktarılan enerji hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada; kurutma havası sıcaklığı 110 °C'den 130 °C'ye çıkarıldığında, ısı transfer katsayısı yaklaşık %6 artarken, enerji veriminde %4 azalma, kurutma havası sıcaklığı 130 °C'den 150 °C'ye çıkarıldığında, ısı transfer katsayısı yaklaşık %26 artarken enerji veriminin %5 azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kurutma, Ramöz, Enerji verimliliği, Isı-kütle transferi, Kuruma davranışı;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

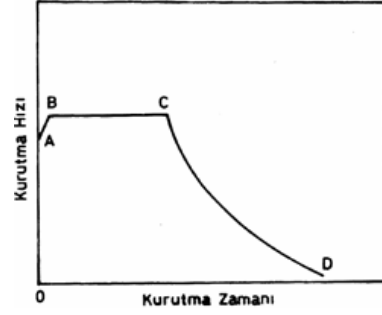
## Giriş

Tekstil endüstrisinde minimum enerji tüketimi ile malzemenin kalitesini ve yapısını bozmadan kuruma süresini en aza indirecek kurutma proseslerinin hazırlanması ve bu doğrultuda kurutma metotlarının geliştirilmesi enerjiyi daha verimli kullanan proseslere ulaşılması için büyük önem taşımaktadır (Akyol, 2007).

Tekstil endüstrisinde ürünlerin kurutulması, malzemeden nemin alınış sekline göre ön kurutma ve esas kurutma olarak sınıflandırılmaktadır. Ön kurutma işlemi; mekanik yöntemlerle kurutma olup, ürün üzerindeki nemin istenilen miktarı bu yöntemlerle giderilememektedir (Oğulata vd., 2000). Bu nedenle esas kurutma olarak bilinen ısı enerjisiyle kurutma (konveksiyon kurutma) ön plana çıkmaktadır.

Ürünün kurutulurken yapısına zarar verilmemesi ayrıca istenilen en/boy ayarının yapılabilmesi açısından tekstil endüstrisinde en yaygın kullanılan konveksiyon kurutma makineleri Ramöz de denilen Ram makineleridir. Ram makineleri kumaşların makine içerisinde enine bir şekilde paletler tarafından tutturulduğu, bir çift yürüyen zincirle kumaşın hareketinin sağlandığı ve bu esnada kumaşa sıcak havanın gönderildiği kurutma makineleridir. (Şekkeli vd., 2009).

Şekil 1'de herhangi bir tekstil malzemesinin kurutma işlemi süresince kurutma hızı - kurutma zamanı değişimi şematik olarak gösterilmiştir. Burada AB bölgesi ısınmaya hazırlık kısmı olmakta ve kumaş üzerindeki fazla sıvı nedeniyle kurutma hızı artış göstermektedir. Bu aşamada kurutma havası sıcaklığı, nemi ve hızı kurutma hızını etkileyen parametreler olmaktadır. BC bölgesi ise kurutma havasının özelliklerinin değişimine bağlı olduğu kısımdır. BC bölgesinde kütle transfer olayı ısı transferi ile dengelenmiş bulunmaktadır. Ancak malzemedeki nem miktarı azalmaya başladıkça, kılcal boşluklarda sürtünme direncini artması, iç dokunun yüzeye sıvı transferini güçleştirmekte ve böylece yüzeyin sürekli nemli kalması zorlaşmaktadır.



Şekil 1. Tekstil ürünlerinin kuruma davranışı.

Sabit hızda kurutma devresinin sona erdiği C noktası, kritik nokta olarak ifade edilmekte ve bu noktadan sonra kütle transferinde sürekli bir azalma gözlenmektedir. CD bölgesi azalan kurutma devresi olmakta ve burada tekstil mamülü içerisinde bulunan şişme suyu ve higroskopik nemin mamülün yüzeyine transferi gerçekleşmektedir. Oldukça yavaş bir kurutma hızının elde edildiği azalan kurutma devresinde, mamül yüzeyinde kurulukların oluşması ve yüzey sıcaklığının yüksek değerlere çıkması ile kritik nem değerinin aşılması sonucu higroskopik nem kaybı, üründe yapı ve kalite bozuklukları görülebilmektedir. Özellikle higroskopik nem kaybının geri kazanımının güç olduğu tekstil ürünlerinde, kritik nem değerinin aşılmadığı BC bölgesinde (sabit hızda kurutma evresi) kurutma işleminin yapılması gerekli olmaktadır (Oğulata vd., 2000; Şekkeli vd., 2009; Perry, 1997). Tekstil ürünlerinin kuruma davranışı incelendiğinde, ramözlerde kurutma işlemi gerçekleştirilirken, tekstil malzemesi türüne bağlı olarak ilk kabinlerde kumaşın ısıtılması, orta bölümlerde sıcaklığın sabit tutulması ve son bölümlerde daha düşük sıcaklıklarda çalışılması kurutma verimini arttıracaklarını ortaya koymaktadır.

Literatürde tekstil kurutma işlemlerinin enerji tüketimi açısından incelendiği çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalara göre;

Prabhu ve Parajia (1982), kontakt ve konveksiyon kurutucuların performanslarını karşılaştırmışlardır. Kumaş yüzeyine sıcak hava püskürterek  $10-20 \text{ W/m}^2\text{K}$  olan taşınım ile ısı transfer katsayısının  $100-200 \text{ W/m}^2\text{K}$

seviyelerine yükseltilebileceğini, konveksiyon kurutucularında özgül buhar tüketiminin, düze verimliliği ve atık hava miktarından önemli ölçüde etkilendiğini ifade etmişlerdir. Labude ve Schirmer (1992), kurutma ve termofiksaj uygulamalarında ısıtılmalı plaka kullanarak ısı transfer katsayısının ölçülmesi ve buna bağlı olarak en uygun lüle dizisi (düze) geometrisinin belirlenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yuvarlak geometri düze ve yarık düzeleri karşılaştırdıklarında, yuvarlak delikli düzelerden daha yüksek ısı transfer katsayısı elde edildiğini belirtmişlerdir. Watzl ve Rückert (1998), emme taburlu kurutucuların kurutma davranışını incelemişlerdir. Yaptıkları deneye göre, kurutma havasının sıcaklığı ve hızı artırılıp kumaş giriş neminin azaltılması durumunda, kurutma hızının arttığını ifade etmişlerdir. Emme tamburlu kurutucu ile ramözleri enerji açısından karşılaştırdıklarında, enerji kayıplarını emme tamburlu kurutucu için %15, ramözlerde ise %40 seviyelerinde olduğunu belirtmişlerdir. Ramaswamy ve Cui (1999), kurutma havasının kumaş eksenine dik olarak üflendiği durumdaki konveksiyon kurutma işlemini teorik olarak araştırmışlar ve bu durumda ısı-kütle transferi için üç model gerçekleştirmişlerdir. Bu modellerin gerçek işletme verileriyle karşılaştırılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Park ve Baik (1997), Polyester kumaşların ramözlerde kurutulması esnasında sıcaklık ve nem değişimlerinin tahmin edilebileceği bir model geliştirmişlerdir. Bu model aracılığı ile kurutma havasının sıcaklığı ile neminin ve kumaşın kurutucu girişindeki su içeriğinin etkileri tahmin edilebilmektedir. Kurutma işlemi şartlarının optimize edilmesine imkan sağlayan model ile enerji tüketiminin azaltılabileceğine değinilmiştir.

Bu çalışmada, tekstil sektörünün hemen hemen tamamında kullanılan ve enerji sarfiyatı yönünden işletmenin en büyük gider kalemlerinden birini oluşturan ram makinesinde kurutma işleminin enerji verimliliği analizi yapılarak enerjinin daha verimli kullanılması amaçlanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### Deney Düzeneği

DeneySEL çalışma 10 kabinli bir ram makinesinde (Şekil 2), Çorlu'da kurulu bir tekstil üretim fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kumaşlar işletmenin üretim sürecinde kullandığı kumaşlar olup deneylerden alınan sonuçlar gerçek üretim koşullarından elde edilen verilerden oluşmaktadır. Ram makinesinde; her kabinde bir adet 350 kW'lık otomatik kontrollü brülör, dört adet 4 kW'lık çapraz konumlandırılmış otomatik kontrollü fanlar bulunmaktadır. Kabinler 3 m uzunlukta olup kabin hava sıcaklıkları 100-200 °C arasında ayarlanabilmektedir. Hareketli ve açılır kabin kapaklarında 160 mm, Sabit gövde brülör ve fan çevresinde 210 mm kalınlıkta yalıtım malzemesi kullanılmıştır.



Şekil 2. Ram makinesi genel görünümü

### Deneylerde Kullanılan Kumaş Özellikleri

Deneyler sırasında kullanılan kumaş %95 Pamuk %5 Likra içerikli, 30/1 Kompakt Süprem örgü yapısında imal edilmiş kumaştır. Kumaşın kuru ağırlığı, standart atmosfer koşullarında (20 °C'de, %65 bağıl nemde) 24 saat etüvde bekletildikten sonra alınan 100 cm<sup>2</sup>'lik 5 adet numunenin hassas terazi ile ölçümünden elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak 133g/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Kumaş kalınlığı ise 0,77 mm olarak tespit edilmiştir. Kumaş kurutucuya girmeden önce 1,45 m genişliğindedir. İşletme Ram makinesinden sonra uygulayacağı boya işlemi için kumaşın makine çıkışında genişliğinin 1,92 m olmasını istediğinden, kumaşın kabin içerisinde ilerlemesi sırasında en ölçüleri yaklaşık 10 cm arttırılarak 7. Kabinde istenilen ölçüye ulaşılmıştır. Kumaşın kurutma kabinleri içerisindeki en ölçüleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kumaşın kabinlerdeki en ölçüleri (metre)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,45	1,53	1,64	1,71	1,81	1,91	1,92	1,92	1,92	1,92

## Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazları ve Hassasiyetleri

Tablo 2’de sunulmuştur.

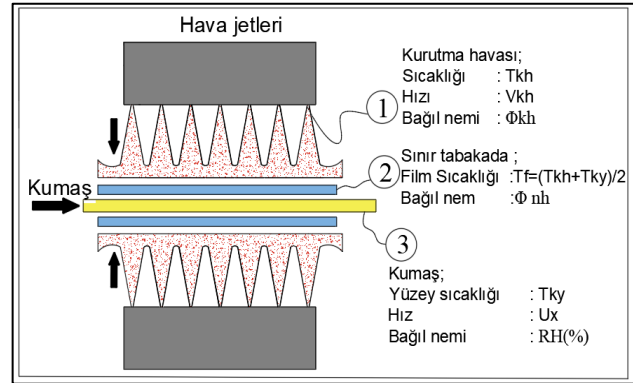
**Tablo 2.** Kullanılan ölçüm cihazları ve hassasiyetleri

Cihaz	Hassasiyeti
Testo 350M/XL Taşınabilir gaz analizörü (Hava hız ölçer)	%5
Testo 870-2 Termal Kamera	±%2 °C
Hygro FASTER Ekv (Kumaş nem ölçer)	%0,8
Delta Ohm HD2301 (Hava nem ölçer)	±%0,1RH
Digitron ThermaPro 2 data logger (K tipi probe, Kumaş yüzey sıc.)	%0,5
Desis THB 600 hassas terazi	0,01g.

## Deneyel Yöntem

Deneylerde kullanılan kumaş kurutucu kabinlere alınmadan önce fular kısmında banyo işlemine tabi tutularak üzerinde bulunan istenmeyen maddelerden uzaklaştırılmıştır. Banyo işleminden çıkan kumaş fular kısmında merdaneler arasında ön kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Ön kurutma işleminden sonra kumaşın birinci kabine girmeden önceki bağıl nem değeri %60 ve yüzey sıcaklığı 35 °C olarak ölçülmüştür. Deneyler; 110-130 ve 150 °C olmak üzere 3 farklı kurutma havası sıcaklığında ve 0,167 m/s (10 m/d) kumaş ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Deney yapılan ortamda sıcaklığının 27,6 °C ve bağıl nemin %60 olduğu belirlenmiştir. Deneylere başlamadan önce kurutma havası sıcaklık değerleri makinenin kontrol ekranında set edildikten sonra sistemin dengeye ulaşması için 10 dakika beklenmiştir. Bu süre sonunda her kabinde bulunan 8 çift düze üzerindeki hava çıkış lülelerinden kurutma havası çıkış hızı ve debisi ölçülmüştür (Şekil 3). Buna göre; 110 °C kurutma havası için, kurutma havası hızı ortalama 21.85 m/s ve debisi 0,194 kg/s, 130 °C kurutma havası için, kurutma havası hızı 24,45 m/s ve debisi 0,206 kg/s, 150 °C kurutma havası için, kurutma havası hızı 33,4 m/s ve debisi 0,268 kg/s olarak elde edilmiştir.

Kurutma işlemi sırasında kumaşın kabin giriş ve çıkış noktalarındaki yüzey sıcaklıkları ve sınır tabaka civarındaki havanın bağıl nem ile sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Bunlar Tablo 3’de gösterilmiştir. Kurutma işlemi sonunda kurutucudan çıkan kumaşın bağıl nem değerleri ölçülerek kumaşın nem kaybı elde edilmiştir. Buna göre 110-130 ve 150 °C kurutma havası ile yapılan kurutma işlemi sonunda kurutucudan çıkan kumaşın bağıl nem değerlerinin sırasıyla, %6,42, %4,96, %3,27 olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Bir çift düze üzerinde ölçüm yapılan noktaların şematik gösterimi

## Yöntem

Deneylerden elde edilen verilerden yararlanılarak, her kabinde gerçekleşen ısı-kütle transfer katsayısı, buharlaşma miktarı, taşınım yolu ile kumaşa aktarılan enerji aşağıda verilen eşitlik ve formüllere göre hesaplanmıştır.

## Hesaplamalarda yapılan kabuller

- 1-Akışkan (Kurutma havası) özellikleri sabittir
- 2-Gözenekli ortamda (Kumaşta) nem üretimi veya tüketimi yoktur.
- 3-Kumaşla temas eden kurutma havası sürekli yenilendiğinden kurutma havasının nem ve sıcaklığı, kumaşın ısı ve nem değişiminden etkilenmemiştir.
- 4-Kumaşın ihmal edilebilir kalınlığı nedeniyle kumaş düzlemine dik yönde difüzyon direnci dikkate alınmamıştır.
- 5-Gözenekli ortam doymuş haldedir.
- 6-Kurutucu adyabatik kabul edilmiştir.
- 7-Hava akışının lüle orta düzlemine göre simetrik olduğu kabul edilmiştir.

8-Gözenekli malzemenin homojen ve rijit olduğu kabul edilmiştir.

9-Kurutucuda ilerleyen kumaş düz plaka olarak kabul edilmiştir.

**Tablo 3.** Deneylerden elde edilen veriler

Kurutma Havası Sıcaklığı		110 °C			130 °C			150 °C		
Kabin	Süre	Kumaş Yüzey Sıcaklığı (°C )	Nemli Hava Bağlı Nemi (%RH)	Nemli Hava Sıcaklığı (°C )	Kumaş Yüzey Sıcaklığı (°C )	Nemli Hava Bağlı Nemi (%RH)	Nemli Hava Sıcaklığı (°C )	Kumaş Yüzey Sıcaklığı (°C )	Nemli Hava Bağlı Nemi (%RH)	Nemli Hava Sıcaklığı (°C )
Giriş	-	35	-	-	35	-	-	35	-	-
1. Kabin	18	58	66,3	57	74	68,3	56	74	72	52
2. Kabin	36	70	49,6	59	84	51	58	82	54,5	53
3. Kabin	54	85	36,3	62	110	37	61	112	41,7	55
4. Kabin	72	91	26,2	65	118	27,6	63	120	30	58
5. Kabin	90	96	16,6	71	122	18,1	68	132	21,2	61
6. Kabin	108	100	12,3	73	122	13,6	70	139	15	65
7. Kabin	126	102	8,2	79	123	9,6	74	142	10,8	69
8. Kabin	144	102	7,2	81	124	8,1	77	143	8,7	73
9. Kabin	162	103	6,4	83	125	7	79	144	7,6	75
10. Kabin	180	100	6,3	82	119	6,9	79	142	7	76
Çıkış	-	68	-	-	93	-	-	111	-	-

### Isı ve kütle transferi

Kurutma işlemi eş zamanlı ısı ve kütle transferi içeren bir olaydır. Genelleştirilirse, faz değişimi içeren her kütle transferi problemi ısı transferi de içermelidir ve bu tür problemlerin çözümü, eş zamanlı ısı ve kütle transferinin dikkate alınıp çözümlenmesini gerektirir (Çengel ve Ghajar, 2015). Bu çalışmada yüksek hızlı çarpan hava jetleri altında kurutma söz konusu olduğundan Chilton – Colburn benzeşimi Eş (1), ( $Pr \neq Sc \neq 1$ ) kullanılmıştır.

$$h = \rho c_p h_m Le^{2/3} \quad (1)$$

Kurutma işlemi sırasında kurutma havası ile kumaş arasında oluşan ara yüzeydeki film sıcaklığı Eş (2) kullanılarak tespit edilmiş ve bu sıcaklıktaki havanın termodinamiksel özellikleri kullanılarak boyutsuz sayılara ulaşılmıştır.

### Ara yüzeyde film sıcaklığı

Film sıcaklığındaki havanın termodinamiksel özellikleri tespit edilmiştir ( $\rho$ ,  $c_p$ ,  $k$ ,  $\alpha$ ,  $D_{AB}$ ,  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $Pr$ ). Bulunan termodinamiksel özellikler yardımı ile boyutsuz sayılara ulaşılmıştır.

$$T_f = (T_{kh} + T_{ky})/2 \quad (2)$$

### Akış tipinin belirlenmesi

Düz plaka üzerinde Reynolds sayısı Eş (3) kullanılarak hesaplanmıştır. Düz plaka üzerinde kritik Reynolds Sayısı  $5 \times 10^5$  olduğundan bulunan Reynolds sayısına göre akışın tüm plaka üzerinde türbülanslı olduğu anlaşılmıştır.

$$Re = (VL_c)/\nu > 5 \times 10^5 \quad (3)$$

### Isı ve kütle taşınım katsayılarının belirlenmesi

Düz plaka üzerinde zorlanmış dış taşınım türbülanslı akış için ( $5 \times 10^5 < Re < 10^7$ ) geliştirilen ortalama Nusselt ve Sherwood sayıları ile ısı taşınım ve kütle taşınım katsayıları tespit edilmiştir Eş (4-5).

$$Nu = 0,037 Re_L^{0,8} Pr^{1/3} = (hL)/k \quad (4)$$

$$Sh = 0,037 Re_L^{0,8} Sc^{1/3} = (h_m L)/D_{AB} \quad (5)$$

### Buharlaşma miktarının belirlenmesi

Her kabinde üzerinde 105 adet ( $\phi=7$ mm) lüle bulunan toplam 8 çift (alt + üst) lüle dizisi (düze) bulunmaktadır. Kumaş üzerinden alınan nem miktarı, kumaşın kabinlerde kaldığı süre içerisinde düzelerden kumaş üzerine üflenen kurutma havası debisinin alabildiği nem miktarına eşit kabulü yapılmıştır. Bu nedenle her bir lüle dizisine ait kurutma havası debisi hesaplanmış ve nemli hava özgül nem değerleri

ile kurutma havası özgül nem değerinden yararlanılarak buharlaşma miktarına ulaşılmıştır.

Tek bir lüle için kurutma havası debisi;

$$\dot{m}_{kh\ tek} = \rho \cdot V \cdot A_{lüle} \quad (6)$$

Lüle dizisi için kurutma havası debisi;

$$\dot{m}_{kh\ dizi} = 210 \cdot \dot{m}_{kh\ tek} \quad (7)$$

Buharlaşma miktarı;

$$M_b = \dot{m}_{kh\ dizi} (\omega_{nemli\ hava} - \omega_{kurutma\ havası}) \cdot t \quad (8)$$

### Kumaş nem oranının belirlenmesi

Kumaşın kabin giriş ve çıkışındaki nem oranları, yaş baza göre; kumaşın içerdiği su kütlesinin ( $m_s$ ), yaş kumaş kütlesine ( $m_y$ ) oranı alınarak elde edilmiştir Eş. (9).

$$MR(\%) = (m_s / m_y) \times 100 \quad (9)$$

### Enerji verimliliği

Kurutma çevrimlerinde enerji verimliliği, ürünün kurutulması için gerekli enerjinin ( $E_b$ ), proste kullanılan kurutma havasının enerjisine ( $E_{kh}$ ) oranı olarak ifade edilebilir Eş.(10)

$$\eta = E_b / E_{kh} \quad (10)$$

Burada; ürünün kurutulması için gerekli enerji, kumaşın kurutma kabini içinde kaldığı süre zarfında kumaştaki buharlaşan nem miktarının enerjisidir. Eş (11) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_b = M_b \cdot h_{fg} \quad (11)$$

Her kabin için kullanılan kurutma havasının enerjisi  $E_{kh}$ , 12 numaralı eşitlikte verilmiştir.

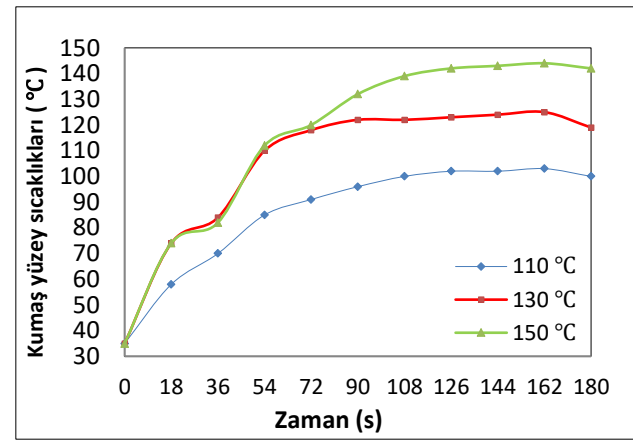
$$E_{kh} = \dot{m}_{kh\ dizi} \cdot C_p \cdot (T_{kh} - T_o) \quad (12)$$

## BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, 10 kabinli bir ramözde farklı kurutma şartları için, enerji verimliliği

araştırılmış olup optimum kurutma şartlarıyla ilgili sonuçlar ortaya konulmuştur. Enerji hesaplamalarında kullanılan veriler, gerçek üretim koşullarından elde edilen verilerden oluşmaktadır. Hesaplamalar 110-130 ve 150 °C olmak üzere 3 farklı kurutma havası sıcaklığında ve 0,167 m/s kumaş ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir.

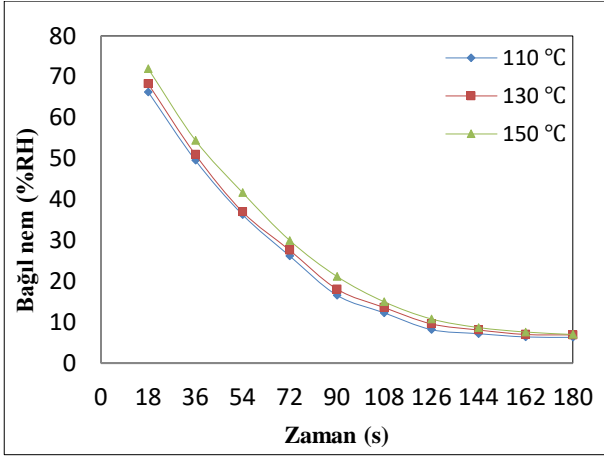
Kurutma havası sıcaklığının enerji verimi üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi aynı zamanda kuruma davranışını da tanımlayan, kumaş yüzey sıcaklıklarındaki, nemli hava bağlı nem değerlerindeki ve ısı - kütle transfer katsayılarındaki zaman bağlı değişim değerlerinin grafikleri Şekil 4-7'de verilmiştir.



Şekil 4. Kurutma havası sıcaklığı ile kumaş yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi

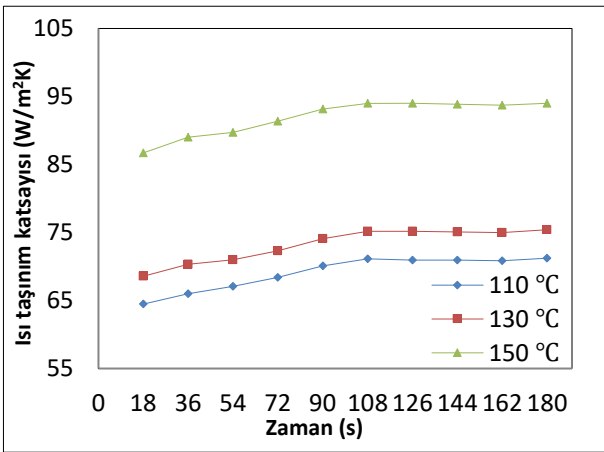
Şekil 4'de 35 °C'de kurutucuya giren kumaş için, kurutma havası sıcaklığı ile kumaş yüzey sıcaklığının zamanla değişim grafiği görülmektedir. Grafiğe göre; kuruma başlangıcında üç farklı kurutma havası sıcaklığı için, kumaş yüzeyindeki nem miktarına bağlı olarak ilk iki kabinde kumaş yüzey sıcaklığının 84 °C'yi aşmadığı, kurumanın ilerleyen zamanlarında özellikle 6. Kabinde (108.saniye) sonra kumaşta azalan nem miktarının etkisi ile kumaş yüzey sıcaklığının kurutma havası sıcaklığına yaklaşmakta olduğu görülmektedir. Ayrıca 9. Kabinde (162.s) sonra kumaş yüzey sıcaklığının yaklaşık 9-14 °C düşmeye başlaması çıkışta bulunan açıklıktan olan ısı transferi nedeniyledir.





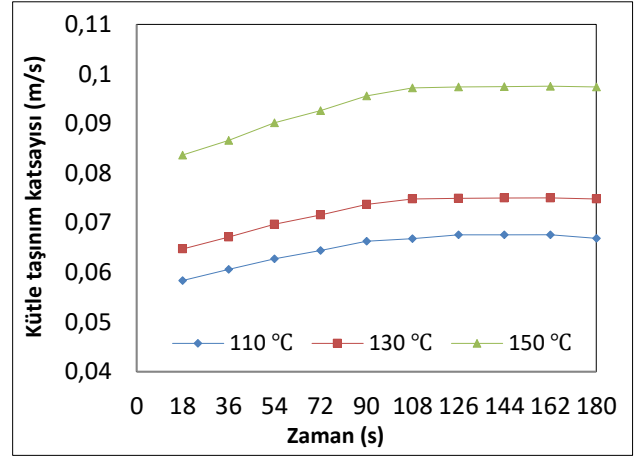
Şekil 5. Kurutma havası sıcaklığı ile nemli hava bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 5’de sabit kumaş ilerleme hızında (0,167 m/s), kurutma havasının sıcaklığının 20 °C artmasıyla, sınır tabaka civarında ölçülen bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi görülmektedir. Kurutma havası sıcaklığının 20 °C artmasıyla bağıl nem değerlerinin ilk kabin için yaklaşık %0,5 oranında arttığı, 6. kabinde sonra buharlaşmanın zorlaşmakta ve bağıl nem değerlerinin birbirine yaklaşmakta olduğu görülmektedir.



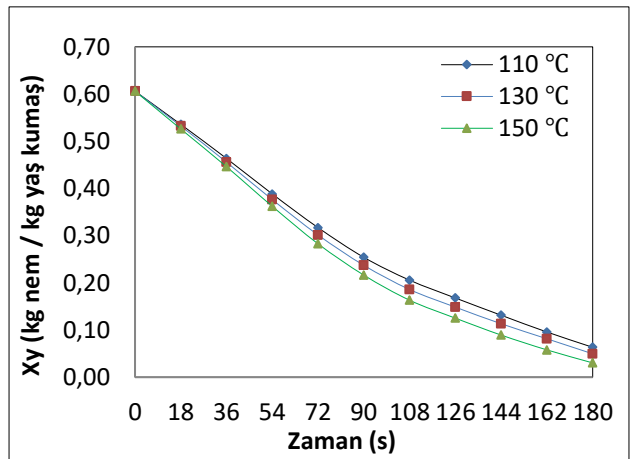
Şekil 6. Farklı kurutma havası sıcaklıkları için ısı taşınım katsayılarının zamanla değişimi

Şekil 6’da ısı taşınım katsayıları incelendiğinde; kurutma havası sıcaklığı 110 °C’den 130 °C’ye çıkarıldığında, ısı transfer katsayısı yaklaşık %6, kurutma havası sıcaklığı 130 °C’den 150 °C’ye çıkarıldığında, ısı transfer katsayısı yaklaşık %26 arttığı sonuçlarına ulaşılmıştır.



Şekil 7. Farklı kurutma havası sıcaklıkları için kütle taşınım katsayılarının zamanla değişimi

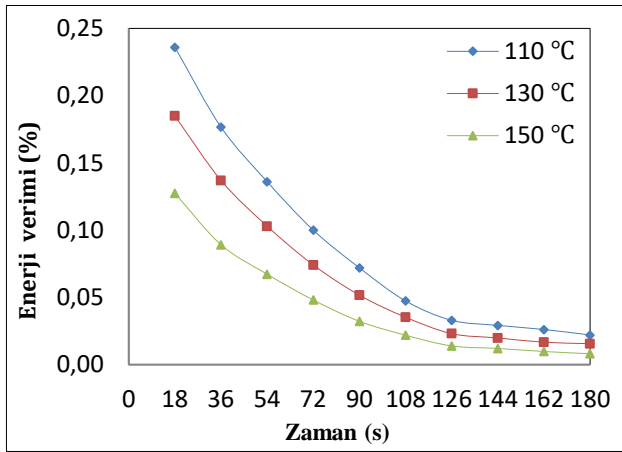
Şekil 7’de Kumaş yüzeyindeki nem miktarına paralel olarak, kumaş yüzey sıcaklıkları arttıkça ısı transfer katsayısına bağlı olarak kütle transfer katsayısı artmakta, kumaş yüzey sıcaklığı kurutma havası sıcaklığına yaklaşmaya başladığında ise ısı transfer katsayısı azalmakta buna karşılık kütle transfer katsayısı sabit değerlere ulaşmakta olduğu görülmektedir. Elde edilen verilerden yararlanılarak, Şekil 8 ve 9’da sırasıyla, kumaş nem oranı ve enerji verimi grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 8. Farklı kurutma havası sıcaklıkları için yaş baza göre kumaş nem oranları.

Şekil 8’de 0,167 m/s kumaş ilerleme hızında 3 farklı kurutma havası sıcaklığı için kuruma oranının zamanla değişimi görülmektedir. Burada Xy ile ifade edilen yaş baz kumaş nem

oranıdır. Kurumanın ilk evrelerinde kumaş yüzeyinde bulunan nem miktarına bağlı olarak kuruma oranı farklı sıcaklık değerleri için yaklaşık aynı değerlerde olmakta özellikle 3. Kabinden sonra kumaş yüzeyindeki nem miktarının azalmasıyla, kumaşın iç kısmında bulunan nemin difüzyon yoluyla yüzeye taşınması ve buradan kurutma havasına aktarılması kuruma işlemini zorlaştırmaktadır. Şekil 8'den 54. saniye sonrasında kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak kuruma oranındaki değişme fark edilmeye başlanmaktadır. Kurutma havası sıcaklığının artması kuruma oranını arttırmaktadır. Fakat 110 °C'lik kurutma havası sıcaklığı, kumaşın kabin içinde bulunma süresi de düşünüldüğünde istenilen çıkış nemi değerini vermemektedir.



Şekil 9. Farklı kurutma havası sıcaklıkları için enerji veriminin zamanla değişimi.

Şekil 9'da farklı kurutma havası sıcaklıkları için enerji veriminin zamanla değişimi görülmektedir. Grafiğe göre; kurutma havası sıcaklığı 110 °C'den 130 °C'ye çıkarıldığında, enerji veriminde %4 azalma, kurutma havası sıcaklığı 130 °C'den 150 °C'ye çıkarıldığında, enerji veriminin %5 azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Kurutma kabinlerine gönderilen kurutma havası sıcaklığının 20 °C artırılması aynı kumaş ilerleme hızında kabinlere daha fazla enerji gönderilmesine sebep olurken, kumaş üzerinden alınan nem miktarların özellikle ilk kabinlerde yaklaşık aynı değerlerde olması sebebi ile enerji veriminin düşmesine sebep olmaktadır.

## Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada; tekstil mamullerinin sıcak hava ile kurutulmasını sağlayan 10 kabinli bir ram makinesinin kurutma davranışı ve enerji verimliliği araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar sırasıyla aşağıda sunulmuştur. Sunulan sonuçlar, gerek akademik gerekse endüstriyel araştırmacılara, ram makinesinde kurutulan kumaşların kuruma davranışı üzerine açıklayıcı fikirler verecektir. Kurutulacak malzemelerin kuruma davranışlarının önceden bilinmesi, özellikle endüstriyel kuruluşlar gibi enerji tüketiminde önemli paya sahip sektörlerde, enerji verimini arttırmaya ve optimize etmeye olanak sağlayacaktır.

1- Kuruma işleminin ilk evrelerinde (ilk iki kabin), kumaştaki nem miktarına bağlı olarak, kumaş yüzey sıcaklığı, kumaş yüzeyindeki sınır tabakanın yaş termometre sıcaklığını geçmemektedir. Kurumanın ilerleyen zamanlarında, özellikle 6.kabinden sonra, yüzeydeki serbest nem miktarının ortadan kalkması (difüzyon ile kuruma aşamasının başlaması) ile kumaş yüzey sıcaklığının, kurutma havası sıcaklığına yaklaşmakta olduğu görülmüştür.

2- Kurutma havasının sıcaklığının 20 °C artmasıyla, birinci kabinde bağıl nem değerlerinin yaklaşık %0,5 oranında arttığı, kumaştaki nem miktarının azalmasına paralel olarak kurumanın ilerleyen zamanlarında bağıl nem miktarlarının birbirine yaklaşmakta olduğu görülmüştür.

3- Kurutma havası sıcaklığının, ısı ve kütle transfer katsayısı üzerinde etkili olduğu, ısı transfer katsayısının artan değerleri ile kütle transfer katsayısının da arttığı, kumaş yüzey sıcaklığı kurutma havası sıcaklığına yaklaşmaya başladığında ise ısı transfer katsayısının azalmakta buna karşılık kütle transfer katsayısının sabit değerlerde seyrettiği belirlenmiştir.

4- Yüksek sıcaklık değerlerinde, kumaştaki suyun daha kolay buharlaştığı ve kuruma hızının arttığı tespit edilmiştir.

5- Kurutma şartları enerji verimini önemli ölçüde etkilemekte, aynı kumaş ilerleme hızında kurutma havası sıcaklığının değiştirilmesiyle birlikte enerji veriminde önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Özellikle ilk üç kabinde, kumaş yüzeyindeki nem miktarına bağlı olarak enerji verimi ve buharlaşma yüksek olmakta, 6. Kabinden sonra kuruma işleminin zorlaşmaya başlaması ile enerji verimi zamanla düşmekte ve kuruma işleminin son aşamasında ise enerji verimi en düşük değerlerini almaktadır.

6- İncelenen kurutma proseslerinin enerji verimleri değerlendirildiğinde, enerji verimin en yüksek olduğu çalışma şartının 110 °C ve enerji veriminin en düşük olduğu çalışma şartlarının 150 °C olduğu tespit edilmiştir.

7- Kurutma işlemi sonrasında kumaş çıkış bağlı nem değerlerinin %4-5 arasında olması istendiğinden en uygun kurutma koşulu olarak 130 °C kurutma havası sıcaklığı ile yapılan kurutma işlemi olduğu görülmektedir. Uygun bulunan kurutma havası sıcaklığı olan 130 °C yerine 150 °C seçilmesi durumunda kurutma işlemi için yaklaşık 2400 kJ daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulacağı, 110 °C seçilmesi durumunda istenilen kurutma işleminin gerçekleşmeyeceği sonucuna ulaşılmıştır.

#### Semboller

$c_p$	Sabit basınçta özgül ısı [kJ/kgK]
$D_{AB}$	Kütle yayılım katsayısı [ $m^2/s$ ]
$h$	Taşınım ısı transfer katsayısı [ $W/m^2K$ ]
$h_{fg}$	Buharlaşma gizli ısı [ $kJ/kg$ ]
$h_m$	Taşınım kütle transfer katsayısı [ $m/s$ ]
$k$	Isı iletim katsayısı [ $W/mK$ ]
$L_c$	Karakteristik uzunluk [ $m$ ]
$Le$	Lewis sayısı [ $\alpha/D_{AB}$ ]
$m$	Kütle [ $kg$ ]
$\dot{m}$	Kütlesel debi [ $kg/s$ ]
$Nu$	Nusselt sayısı [ $hL/k$ ]
$P$	Basınç [ $Pa$ ]
$Pr$	Prandtl sayısı [ $\mu c_p/k$ ]
$R$	Gaz sabiti [ $kJ/kgK$ ]
$RH$	Bağıl nem [ $P_v/P_{g@T}$ ]
$Re$	Reynolds sayısı [ $\rho VL/\mu$ ]
$Sh$	Sherwood sayısı [ $h_m L/D_{AB}$ ]
$t$	Zaman [ $s$ ]
$T$	Sıcaklık [ $^{\circ}C$ ]
$V$	Hız [ $m/s$ ]

$X_y$  Nem oranı (kg nem/kg yaş kumaş)

#### Alt İndisler

$b$	Buhar
$kh$	Kurutma havası
$k$	Kumaş
$g$	Gaz
$n$	Nem
$y$	Yüzey

#### Yunan Harfleri

$\rho$	Yoğunluk [ $kg/m^3$ ]
$\alpha$	Isıl yayılım katsayısı [ $m^2/s$ ]
$\mu$	Dinamik viskozite [ $kg/ms$ ]
$\nu$	Kinematik viskozite [ $m^2/s$ ]
$\emptyset$	Çap [ $m$ ]

#### Kaynaklar

- Akyol U., (2007). İplik bobini kurutulmasının teorik incelenmesi, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne-Türkiye.
- Çengel Y.A., Ghajar A.J., (2015). Isı ve Kütle Transferi Esaslar ve Uygulamalar, Palme Yayıncılık, 4. Baskı, Ankara.
- Labude J., Schirmer U., (1992). Die messung konvektiver wärmeübergangskoeffizienten an spann-, trocken-, und fixiermaschinen, Textil Praxis International, April, pp. 352-355.
- Oğulata R.T., Kadem F.D., Koç E., (2000). Tekstilde kurutma yöntem ve makineleri, 4. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye.
- Park S.I., Baik D.H., (1997). Heat and mass transfer analysis of fabric in the tenter frame, Textile Research Journal, Vol. 67, pp.311-316.
- Perry R., (1997). Perry's Chemical Engineer's Book, McGraw-Hill Book Comp.
- Prabhu M.R., Parajia J.S., (1982). Performance relations and norms for textile contact and convection dyer, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, pp.233-238.
- Ramaswamy S., Cui Y., (1999). Analyzing convective heat and mass transfer in through-air drying of fabrics, Textile Research Journal, Vol. 69, pp. 776 –781.
- Şekkeli M., İmal M., Kılıç E., Dinçer F., (2009). Tekstil Fabrikası Boya Tesisinde SCADA

Yazılımlı Isı Geri Kazanım Otomasyonu ve Uygulaması, V. Otomasyon Sempozyumu, İzmir.

Waltz A., Rückert M., (1998). Industrial through-air drying of nonwoven and paper basic principles and applications, *Drying Technology*, Vol. 16(6), pp.1027-1045.

## Energy efficiency analysis of drying process in industrial type convectional dryer

### Extended abstract

*Textile products frequently need to be dried at various step of production. Drying of textile products is usually carried out in convection dryers. The most common convection drying machines in the textile industry are the called ram or ramos. Ram machines are drying machines in which fabrics are held transversely in the machine by pallets, the movement of the fabric is carried out by a pair of moving chains, and hot air is sent to the fabric.*

*The drying process is generally divided into two parts that mechanical drying and convection drying. In this ram machine which drying behavior have investigated, these two drying methods are also used. The part where the fabric take into the dryer is fulard section. In this place unwanted foreign substances on the fabric are removed by washing the fabric. right after the washing process, the free water on the fabric is removed by being compressed between the rolls (mechanical drying). This period is the easiest and cheapest period of drying. Afterwards, convection drying is performed with the help of drying air in the dryer that until the desired amount of moisture is achieve inside the fabric. This process is the most difficult and expensive part. It requires overmuch energy. It is inevitable to use energy efficiently in such drying processes.*

*In this study, In the drying process of a 10-chamber ram machine, with the aim of raising energy efficiency, experimental studies was carried out in real production conditions. . The experiments were carried out at three different drying air temperatures (110-130-150 °C) and 0.167 m/s (10 m / min.) at the speed of fabric movement, using 95% cotton + 5% lycra content fabric. In the measurements made, it was determined that the wet fabric weight was 338 g/m<sup>2</sup> and the dry fabric weight was 133 g/m<sup>2</sup>. It is desirable that the relative humidity value of the fabric is 4-5% at the dryer outlet. The heat and mass transfer coefficients, the amount of evaporation and the energy transferred to the fabric by convection have calculated for each drying chamber according to data obtained from the experiments.*

*Results in this study have been obtained that; the heat transfer coefficient increases about 6% while the energy efficiency decreases 4% in case of drying air temperature is increased from 110 °C to 130 °C. The heat transfer coefficient increases about 26% while the energy efficiency decreases 5% in case of the temperature is increased from 130 °C to 150 °C. Additionally, the optimum operating condition have determining at a drying air temperature of 130 °C, when this temperature is increased to 150 °C, 2400 kJ has been determined to require more energy.*

**Keywords:** Drying, Ram machine, Energy efficiency, Heat and mass transfer, Drying behavior.



## Mikrokanallı ısı alıcıda SiO<sub>2</sub>-su nanoakışkanının karma taşınım özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi

### Bayram ŞAHİN

Erzurum Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum  
[bayram.sahin@erzurum.edu.tr](mailto:bayram.sahin@erzurum.edu.tr) ORCID: 0000-0002-7016-644X

### Rahim Aytuğ ÖZER

Kafkas Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kars  
[aytugozerr@gmail.com](mailto:aytugozerr@gmail.com) ORCID: 0000-0002-3162-5551

### İbrahim ATEŞ\*

Erzurum Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum  
[ibrahim.ates@erzurum.edu.tr](mailto:ibrahim.ates@erzurum.edu.tr) ORCID: 0000-0002-9644-9667, Tel: 444 5 388 (2302)

### Eyüphan MANAY

Erzurum Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum  
[emanay@erzurum.edu.tr](mailto:emanay@erzurum.edu.tr) ORCID: 0000-0002-5456-8756

Geliş: 20.10.2018, Kabul Tarihi: 27.02.2019

### Öz

Mikro üretim teknolojilerindeki gelişmeler fonksiyonelliği artırılmış daha küçük cihaz ve sistemlerin üretimine olanak sağlamıştır. Günden güne minyatürleşen ve daha karmaşık hale gelen elektronik sistemlerde yeterli soğutma yüzeyinin olmaması cihazların çalışması sırasında açığa çıkan ısının geleneksel ısı yönetim metodlarıyla sistemden uzaklaştırılmasını imkansız hale getirmiştir. Bu durum, araştırmacıları etkin ısı transfer artırımı sağlamak için farklı metodlar geliştirmeye zorlamıştır. Temel soğutucu akışkan içerisine nano büyüklükteki parçacıkların süspanse edilmesiyle elde edilen nanoakışkan kullanımı bu konuda çalışan araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bu deneysel çalışmada, farklı kanal genişliğine (400µm ve 500µm) sahip dikdörtgen kesitli mikrokanallar kullanılarak oluşturulan çoklu mikrokanallı ısı alıcıların ısı transfer karakteristikleri sunulmuştur. Soğutucu akışkan olarak saf su ve %1 hacimsel konsantrasyona sahip SiO<sub>2</sub>-saf su nanoakışkanı kullanılmıştır. Nanoakışkanların sentezlenmesinde 10nm boyutundaki SiO<sub>2</sub> nanopartikülleri kullanılmıştır ve iki adım metodu uygulanmıştır. Deneyler sabit yüzey ısı akısı sınır şartında gerçekleştirilmiş olup taşınım mekanizmasında karma taşınım etkilerini inceleyebilmek için Reynolds sayısı 20-110 aralığında tutulmuştur. Deneysel verilere göre, %1 hacimsel oranda nanoakışkan kullanımı safsuya göre Nusselt sayısını 400 µm genişliğinde mikrokanallara sahip ısı alıcıda %22 artırırken bu değer 500 µm'lik genişlikteki mikrokanallı ısı alıcıda %16 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** SiO<sub>2</sub>-su nanoakışkan; karma taşınım; mikrokanallı ısı alıcı; ısı transfer artırımı;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.472854

## Giriş

Mikro-elektromekanik sistemlerdeki (MEMS) hızlı gelişmeler elektronik sistemlerde yüksek güç yoğunluğunun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bilgisayarlar, radyolar, televizyonlar, küçük ev aletleri, radarlar, cep telefonları gibi elektronik cihazların tekil kullanımdan ziyade bir sistem içerisine entegre edilerek kullanılmalarının bir çok örneğini günümüzde görmekteyiz. MEMS uygulamalarında sistem sıcaklığının aşırı yükselmesi elektronik bileşenlerin hassas yapısından dolayı düzensiz çalışma, duyarlılık, okuma hataları ve güvenilirlik gibi hatalara sebebiyet vermektedir. Kompleks sistemlerde ve hassas çalışma gerektiren uygulamalarda bu tarz problemler ciddi sonuçlar doğurabilir. Bu yüzden, istenilen çalışma şartlarını sağlayabilmek için MEMS'lerin etkin bir şekilde soğutulması gerekmektedir. Soğutma işlemini gerçekleştirmek için uygulamada yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri MEMS'e entegre olarak çalışan ısı alıcı yerleştirmektir. Isı alıcılar birbirine paralel kanallardan oluşan ısıl yönetim elemanlarıdır. Daha küçük hacme ve ağırlığa sahip olmalarının yanı sıra yüksek ısı kapasitelerinden dolayı MEMS'de mikrokanallı ısı alıcı kullanımı avantaj sağlamaktadır.

Mikrokanallarda ısı transferini etkileyen parametrelerin kontrolünü sağlamak ve maksimum ısı transfer elde etmek için optimum kanal geometrisi ile ilgili olarak literatürde sayısal ve deneysel çalışmalar mevcuttur (Mokrani vd., 2009; Singh ve Randhawa, 2015; Tang vd., 2007; Dang ve Teng, 2011). Yapılan araştırmalar, mikrokanal geometrisinin ısıl performansı önemli ölçüde değiştirdiğini göstermiştir. Ancak, mikrokanal geometrisi ile ısı alıcıların ısıl performansı belli bir ölçüye kadar arttırılabilir. Temel ısı transfer akışkanlarının (su, etilen glikol ve motor yağı vb.) termodinamik özelliklerinin sınırlı olması araştırmacıları yeni akışkan arayışına sevk etmiştir. Termodinamik özellikleri iyi olan nano partiküllerin geleneksel akışkanlarla

karıştırılması ile oluşturulan yeni iş akışkanları (nanoakışkanlar) ilgi odağı haline gelmiştir (Choi ve Eastman, 1995; Hwang vd., 2006; Yu vd., 2009). Literatürdeki çalışmalarda yoğunlukla nanoakışkanların termodinamik özellikleri, ısı transferi ve basınç düşüşü etkileri incelenmiştir (Şahin vd., 2015; Manay vd., 2012; Zang vd., 2007). Mikrokanal kullanılarak arttırılan ısıl performansla iş akışkanı olarak nanoakışkan kullanımı da eklendiğinde ısı verim çok daha yüksek değerlere çıkabilmektedir.

Yang ve diğerleri (2016) alüminyum oksit-su nanoakışkanı kullanarak mikrokanallarda sabit ısı akışı sınır şartında zorlanmış taşınım özelliklerini sayısal olarak incelemiştir. Hidrodinamik ve ısıl olarak tam gelişmiş bölge için yapmış oldukları çözümlemede viskoz ısınmanın ısı transferini olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Diğer yandan, yüzeydeki kayma hızı ve sıcaklıktaki yükselmenin ısı transferinin artırırken aynı zamanda basınç düşüşünü azaltarak nanoakışkanların mikrokanallarda kullanımı için umut vaat ettiğini vurgulamışlardır. Chabi ve diğerleri (2017) iş akışkanı olarak %0.1 ve %0.2 hacimsel derişimde CuO – su nanoakışkanı kullanarak bir mikrokanallı ısı değiştiricisinin giriş bölgesinde zorlanmış taşınım ısı transfer ve hidrodinamik karakteristiklerini farklı Reynolds sayılarında incelemiştir. Kritik bir Reynolds sayısı değerine kadar ısı transferindeki iyileşmenin yaklaşık %40'lara kadar arttığını belirtmişlerdir. Akış hızı ve nanoakışkan konsantrasyonundaki daha fazla artışın, hızlı çökelti oluşumu ve nanoakışkan kararsızlığına neden olarak ısı transferini azalttığını ifade etmişlerdir.

Mikrokanallı ısı alıcılarda nanoakışkan kullanımını ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcut olmasına karşın bu çalışmaların tamamına yakınında ısı transferi zorlanmış taşınım mekanizması ile gerçekleştirilmiştir. MEMS uygulamalarında yüksek Reynolds sayılarında çalışmak olası değildir. Düşük akış debilerinde, yani düşük Reynolds sayılarında, çalışıldığı zaman ısı transferi mekanizması

karma taşınım olur. Mikrokanallarda nanoakışkanların karma taşınım performansının çalışıldığı literatür incelendiğinde sayısal çalışmaların çoğunlukta olduğu göze çarpmaktadır (Mirmasoumi ve Behzadmehr, 2008; Zanchini, 2008; Izadi vd., 2013). Bunun sebebi küçük boyutlu mikrokanal tasarımı ve üretimindeki güçlükler olabilir. Son zamanlarda, mikrokanallarda karma taşınımın temel fiziğini anlamaya yönelik en dikkat çekici çalışmalardan birisi Malvandi ve Ganji (2014) tarafından sayısal olarak gerçekleştirilen çalışmadır. Bu çalışmada, alüminyum oksit-saf su nanoakışkanın dikey bir mikrokanalda karma taşınım performansı incelenmiştir. Hesaplamalarda, nanoparçacık göçünün etkisini tam olarak açıklayan nanoakışkanlar için modifiye edilmiş Buongiorno modeli kullanılmıştır. Bu model Brownian hareketini ve termoforez yayılımlarını baskın kayma mekanizması olarak ele almaktadır. Sayısal çalışma sonuçlarına göre, nanopartiküller ısıtılmış yüzeylerden mikrokanal merkezine doğru hareket ederek heterojen bir yapı oluşmaktadır. Nanopartikül büyüklüğünün hem nanopartiküllerin dağılımı hem de nanoakışkanların ısı transfer hızı ve basınç düşüşü üzerinde önemli etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak, ısıtılmış yüzeylerdeki nanopartikül konsantrasyonu ( $\phi$ ), kayma parametresi ( $\lambda$ ) ve karma taşınım parametresindeki ( $Ng$ ) artışın karma taşınım ısı transferini ve basınç düşüşünü artırdığı sonucuna varılmıştır.

Mikrokanallarda nanoakışkanların karma taşınımı ile ilgili yapılan sayısal çalışmaların birçok yönden deneysel çalışmalarla doğrulanması gerektiği açıktır. Yapılan bu deneysel çalışma ile literatüre deneysel anlamda katkı sağlamak amaçlanmıştır. Deneysel, ısı değiştirici olarak 400  $\mu\text{m}$  kanal genişliğinde 31 adet mikrokanal ve 500  $\mu\text{m}$  kanal genişliğinde 26 adet mikrokanaldan oluşan iki farklı mikrokanallı ısı alıcı kullanılmıştır. İş akışkanı olarak saf su ve %1 hacimsel konsantrasyona sahip  $\text{SiO}_2$ -saf su nanoakışkanı kullanılmıştır. Bu sayede mikrokanallarda geleneksel iş akışkanı yerine yüksek termal performansa sahip nanoakışkan kullanımının etkisi incelenmiştir.

İlk olarak, iki adım metodu ile hazırlanan  $\text{SiO}_2$ -saf su nanoakışkanı ve saf su için 20-60°C sıcaklık aralığında termal iletkenlik ve viskozite karakterizasyonu yapılmıştır. Mikrokanallı ısı alıcı deneylerinde, test bölgesine 80 W sabit yüzey ısı akısı uygulanmıştır. Deneyler, 20-110 aralığındaki farklı Reynolds sayılarında sıcaklık ve basınç ölçümleri yapılarak gerçekleştirilmiş ve karma taşınımın ısı transferi ve basınç düşümü karakteristikleri belirlenmiştir.

## Materyal ve Yöntem

### Nanoakışkanların Hazırlanması ve Termofiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Nanoakışkan hazırlanmasında genellikle tek adım ve iki adım metodu kullanılmaktadır. İki adım metodunda ilk adım nanopartikül üretimidir. İkinci adım ise uygun yöntemlerle nanopartiküllerin akışkan içerisine karıştırılmasıdır. Bu deneysel çalışmada nanoakışkan, kararlılık, kümelenme azlığı ve partikül çözünürlüğündeki avantajlarından dolayı iki adım metodu ile hazırlanmıştır (Şahin ve diğerleri, 2013; Manay ve Şahin, 2017). Bu durumda, iş akışkanı olarak kullanacağımız nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonu belirlendikten sonra temel akışkan ve partikül miktarı hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan nanopartiküller için bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin verildiği bir tablo Tablo 1'de sunulmuştur.

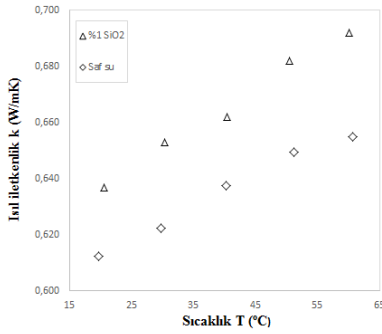
**Tablo 1.**  $\text{SiO}_2$  nanopartiküllerinin özellikleri ([www.sigmaaldrich.com](http://www.sigmaaldrich.com) web adresinden alınmıştır.)

<b>Partikül adı</b>	Silikon Dioksit
<b>Moleküler Formül</b>	$\text{SiO}_2$
<b>Molekül Ağırlığı</b>	60.08 g/mol
<b>Bulk Yoğunluğu</b>	0.011 g/mol
<b>Yoğunluk</b>	2.2-2.6 g/mol (25 °C'de)
<b>Partikül Boyutu</b>	10-20 nm
<b>Renk</b>	Beyaz
<b>Safılık</b>	%99.5
<b>Kaynama Noktası</b>	2230 °C
<b>Ergime Noktası</b>	>1600 °C

İstenilen hacimsel oranda nanoakışkan hazırlamak için temel akışkan ve nanopartikül miktarları belirlenmiştir. Boş bir kaba aktarılmış saf su içerisine hassas terazide ölçümü yapılan partiküller ilave edilerek mekanik olarak



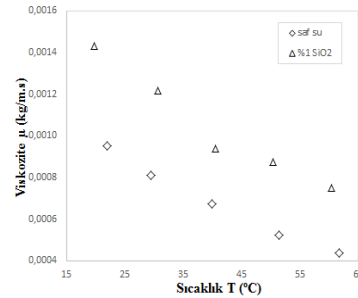
karıştırılmıştır. Daha sonra hazırlanan karışım 7 saat süreyle homojenizatör içerisinde alınarak stabilizasyon işlemine tabi tutulmuştur. 48 saat süren stabilizasyon işleminin ardından nanoakışkanın kararlı bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Hazırlanan nanoakışkandan ısı iletkenlik ve viskozite ölçümleri için numuneler alınmıştır. Saf su ve SiO<sub>2</sub>- saf su nanoakışkanının ısı iletkenlik ölçümlerinde Linseis THB-100 ısı iletkenlik ölçer kullanılmıştır. Geçici sıcak tel (Transient Hot Bridge) tekniği ile çalışan cihazdan alınan veri sonuçları sıcaklığa bağlı olarak Şekil 1’de sunulmuştur. Aynı akışkanların viskozite ölçümlerinde ise A&D SV-10 vibro viskozimetre kullanılmıştır. Her iki akışkan için de viskozitenin sıcaklıkla değişimi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Isıl iletkenliğin sıcaklıkla değişimi

Şekil 1’de görüldüğü gibi sıcaklık akışkanların ısı iletkenliğini etkileyen önemli bir faktördür. Sıcaklıkta ki artışa karşılık ölçümleri alınmış olan akışkanların ısı iletkenlik değeri artmıştır. Akışkanlarda ısı iletimi moleküllerin birbirleriyle çarpışması ve moleküllerin yayılımı sayesinde gerçekleşir. Sıcaklık artışı yayılım ve çarpışma etkilerini artırarak ısı iletkenlik değerinin artmasına sebep olur. Üzerinde durulması gereken bir diğer nokta ise nanopartikül ihtiva eden nanoakışkanların ısı iletkenlik değerlerinin saf su ısı iletkenlik değerinden yüksek olmasıdır. Bunun sebebi olarak, akışkan içerisine nanopartikül ilavesinin Brownian etkisini arttırmasıdır. Isıl iletkenlikteki en yüksek artış oranı yaklaşık %13 olarak 60°C sıcaklıktaki %1 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanda meydana gelmiştir.

Temel akışkan içerisine nanopartikül ilavesinin ısı iletkenliği arttırmasının birkaç nedeni olabilir. Bunlardan birisi Brownian hareketi olarak bilinen nanopartiküllerin karışım içerisindeki rastlantısal hareketidir. Prasher ve diğerleri (2006) ısı transferindeki bu artışı nanopartiküllerin temel akışkan içerisinde kümelenmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Diğer taraftan, katı ortamlarda ısı transferi sıvı ortamlardan daha hızlı olduğu düşünülürse oluşan nanopartikül kümeleri akışkanın ısı transfer kabiliyetini arttırdığı söylenebilir. Akışkan ile nanopartiküller arasında oluşan katman ise ısı transfer kabiliyetinin artmasına sebep olan etki olarak düşünülebilir. Domingues ve diğerleri (2005) yaptıkları çalışmada iki partikül arasındaki yakın alan radyasyonun ısı transferi hızını etkilediğini belirtmişlerdir. Bu durum partikül boyutu azaldıkça daha etkili bir hale gelmektedir. Ek olarak, Brownian hareketinin partiküller arası mesafeyi azaltacağı düşünülürse yakın alan radyasyonunun etkisi artabilir.

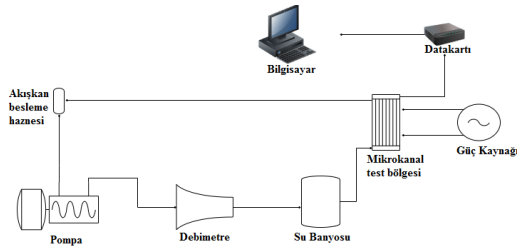


Şekil 2. Viskozitenin sıcaklıkla değişimi

Temel akışkana partikül ilavesi viskozite değerinin artışına sebep olması beklenen bir durumdur. Şekil 2’de görüldüğü gibi nanoakışkanların viskozite değerleri saf suyun viskozite değerinden büyüktür. Ayrıca sıcaklığın da viskozite üzerindeki etkisi küçümsenmeyecek kadar fazladır. Sıcaklık artışına cevap olarak bütün akışkanların viskozitelerinde düşüş gözlenmiştir. En yüksek sıcaklık değerinde SiO<sub>2</sub>-saf su nanoakışkanında en düşük viskozite değeri ölçülmüştür. En yüksek viskozite değeri ise yine SiO<sub>2</sub>-saf su nanoakışkanında 20°C da elde edilmiştir. Bu değer, aynı sıcaklıktaki saf suyun viskozite değerinden %50 daha fazladır.

### Deney Düzenegi

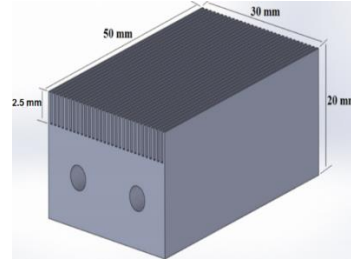
Çalışmada kullanılan deney düzeneginin şematik görünümü Şekil 3'te verilmiştir. Mikrokanal deney düzenegi temel olarak üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar akış kontrol ünitesi, mikrokanal test bölgesi ve veri depolama bölümüdür. Akış kontrol ünitesinde, sistemde akışkan sürekliliğini sağlayan bir adet pozitif yer değiştirmeli invertörlü pompa kullanılmıştır. Sistemde dolaşan iş akışkanının debisi Siemens marka Mass6000 model kütleli debimetre ile ölçülmüştür. Mikrokanal test bölgesine beslenen akışkanın test bölgesine giriş sıcaklığını sabit tutabilmek için içerisinde helisel bir ısı değiştiricisi bulunan su banyosu kullanılmıştır. Test bölgesinde sabit ısı akışı şartlarını sağlayabilmek için iki adet kartuş ısıtıcı kullanılmıştır. Bu ısıtıcılara güç beslemesi güç kaynağı yardımıyla yapılmıştır. Veri depolama bölümünde ise, akışkanın test bölgesine giriş-çıkış sıcaklıkları ve mikrokanal yüzey sıcaklıkları ısılıçiftler vasıtasıyla veri toplama kartına aktarılmıştır. Daha sonra veriler bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 3. Deney düzenegi

### Test Bölümü ve Deneylerin Yapılışı

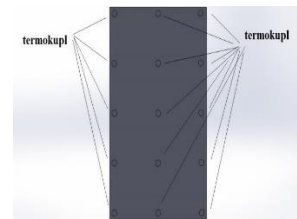
Deneylerde 20×30×50 mm ebatlarında alüminyum malzemenin belirlenen üst yüzeyine 2.5 mm yüksekliğinde ve 50 mm uzunluğunda mikro kanallar tel erozyon yöntemiyle paralel olarak açılmıştır. 400µm ve 500µm olmak üzere iki farklı genişlikte elde edilen mikro kanal dizilimleri sayesinde kanal genişliğinin mikro kanal soğutucu performansı üzerindeki etkisini inceleme fırsatı elde edilmiştir. Mikrokanal bloğuna ait görsel Şekil 4'te verilmiştir.



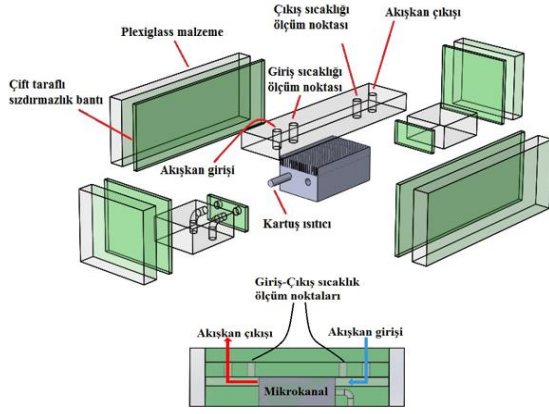
Şekil 4. Mikrokanallı ısı alıcı

İki adet kartuş ısıtıcı bloklar üzerine açılan 6 mm'lik kanallar içerisine yerleştirilmiştir. Ayrıca mikrokanal yüzey sıcaklıklarını ölçmek için her bir bloğun alt yüzeyine 1 mm çapında on beş adet termokupl yuvası bulunmaktadır. Yuvalara yerleştirilen ısılıçiftler ile yüzey sıcaklık verileri data kartına aktarılmıştır. ısılıçiftlerin yüzey üzerindeki yerleşimi Şekil 5'de sunulmuştur.

Test bölgesinin etrafı pleksiglass prizmalarla çevrelenerek giriş ve çıkış hazneleri oluşturulmuştur. Bloklar ve pleksiglass malzemeler arasındaki sızdırmazlığı sağlamak için sızdırmazlık bantları kullanılmıştır. Test bölgesinin kanallara bakan yüzeyindeki pleksiglass prizma üzerine giriş ve çıkış haznelerine denk gelecek şekilde termokupl yuvası açılmıştır. Bu yuvalara yerleştirilen ve akışkanla temas eden termokupllar ile akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülebilmektedir. Test bölümünün şematik görünümü Şekil 6 da sunulmuştur.



Şekil 5. Sıcaklık ölçüm noktaları



Şekil 6. Test bölümü gösterimi

Deneyler saf su ve hacimsel konsantrasyonu % 1 olan SiO<sub>2</sub>-saf su nanoakışkanları ile gerçekleştirilmiştir. Pompa çalıştırılarak iş akışkanı, akış besleme haznesinden sisteme alınır. Devamında kütleli debimetre yardımıyla sistem debisi pompa invertörü ile ayarlanmıştır. Daha sonra akışkan 20 °C sıcaklığa ayarlanmış su banyosundan geçirilerek test bölgesi giriş sıcaklığına ulaşmış olur. Enerjisini güç kaynağından alan kartuş ısıtıcılar yardımıyla kanal yüzeylerinde sabit ısı akışı sağlanır. Sistem kararlılığı sağlandıktan sonra veriler kaydedilerek sistem bir diğer akış şartları için hazırlanmıştır.

### Verilerin İşlenmesi

Isıtıcılar için güç beslemesi bir güç kaynağı ile sağlanmıştır. Bu elektriksel güç dijital indikatör üzerinden okunabilmektedir. Ayrıca indikatör üzerinden okunan akım ve gerilim değerlerinin çarpılmasıyla da bulunabilir.

$$\dot{Q} = VI \quad (1)$$

Sisteme verilen elektriksel gücün tamamının taşınım ile transfer edildiği düşünüldüğü zaman Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 yazılabilir.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{taşınım}} \quad (2)$$

$$VI = hA_s(T_s - T_{\text{ort}}) \quad (3)$$

Burada, A<sub>s</sub> ısı transfer yüzey alanı, T<sub>s</sub> yüzey sıcaklığı, T<sub>ort</sub> ortalama sıcaklık olmak üzere ortalama ısı taşınım katsayısı Eşitlik 4'ten hesaplanabilir.

$$h = \frac{VI}{hA_s \left[ T_s - \left( \frac{T_g + T_c}{2} \right) \right]} \quad (4)$$

Burada, T<sub>g</sub> ve T<sub>c</sub> sırasıyla akışkanın test bölümüne giriş ve çıkış sıcaklığıdır. Deneysel ortalama taşınım katsayısı kullanıldığı zaman Nusselt sayısı hesabı için Eşitlik 5 kullanılabilir.

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (5)$$

Reynolds sayısı Eşitlik 6'dan 'U' ortalama akışkan hızı kullanılarak hesaplanabilir.

$$Re = \frac{\rho U D_h}{\mu} \quad (6)$$

Doğal taşınım için önemli parametrelerden birisi olarak değerlendirilmesi gereken Grashof sayısı kaldırma kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranıdır. Karma taşınım da ki doğal taşınım etkilerinin belirlenmesi için gerekli olan Grashof sayısı Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanır.

$$Gr = \frac{g\beta[(T_s - (T_i + T_o/2))]D^3}{\nu^2} \quad (7)$$

Laminer akış karakteristiğini belirlemede kullanılan boyutsuz Graetz sayısı Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanır.

$$Gz = \frac{\pi}{4} Re \frac{D_h}{L} Pr \quad (8)$$

Rayleigh sayısı, Grashof sayısı ile Prandtl sayısına bağlı olarak Eşitlik 9'dan hesaplanır.

$$Ra = GrPr \quad (9)$$

Karma taşınım da sıkça kullanılan Richardson sayısı ise Eşitlik 10 ile hesaplanır.

$$Ri = \frac{Gr}{Re^2} \quad (10)$$

Karma taşınım mekanizmalarında Nusselt sayısı hem zorlanmış taşınım hemde doğal taşınım

kaynaklı ısı transfer parametrelerinin etkileri toplanarak hesaplanır (Eşitlik 11).

$$Nu = Nu_{zorlanmış} + Nu_{doğal} \quad (11)$$

Literatürdeki analitik çalışmalar incelendiği zaman karma taşınım mekanizmaları için benzer denklemlerin kullanıldığı görülmektedir. Bu denklemin genel formu Eşitlik 12’de verilmiştir. ‘a’ sabit bir sayıyı ifade eden ve sabit ısı akısı sınır şartı için değeri 2.11 alınması önerilen bir sayıdır.  $\Phi$  ise karma taşınım mekanizmasında doğal taşınım etkilerini ifade eden bir parametredir (Feng ve Li, 2013).

$$\left[ Nu \left( \frac{\mu_w}{\mu_b} \right)^{0.14} \right]^3 = \left( a \cdot Gr^{\frac{1}{3}} \right)_{zorlanmış}^3 + \left( a \cdot \Phi^{\frac{1}{3}} \right)_{doğal}^3 \quad (12)$$

$\Phi$  sayısı Eşitlik 13’da tanımlandığı gibi Grashof sayısı, Prandtl sayısı ve Gzetz sayısına bağlıdır. Doğal taşınım ve karma taşınım etkilerinin karşılaştırılmasında bu eşitliklerin kullanılması yeterli olacaktır.

$$\Phi = \left( \frac{GrPr (L/D)}{Gz + L/D} \right)^{3/4} \quad (13)$$

## Deney Sonuçları ve Tartışma

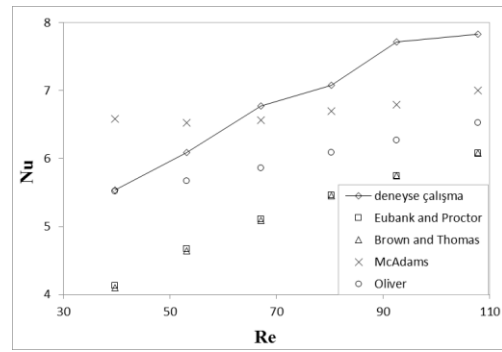
DeneySEL çalışma sonucunda elde edilen verilerin doğruluğunun tespiti için literatürde konu ile alakalı kabul görmüş model çalışmalarla kıyaslanması gerekmektedir. Bunun için, saf su verileri Tablo 2’de sunulan Eubank-Proctor, McAdams, Brown-Thomas ve Oliver modelleri karşılaştırılmıştır.

**Tablo 2.** Nusselt sayısı için kullanılan modeller

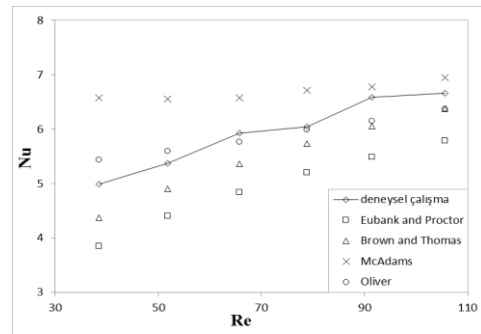
Model Adı	Denklem
Eubank-Proctor Modeli	$Nu \left( \frac{\mu_w}{\mu_b} \right)^{0.14} = 2.11 \left( Gz + 6.2 \times 10^{-4} \left( \frac{GrPrL}{D} \right)^{3/4} \right)^{\frac{1}{3}}$

Brown-Thomas Modeli	$Nu \left( \frac{\mu_w}{\mu_b} \right)^{0.14} = 2.11 \left( Gz + 0.0273 \left( \frac{GrPrL/D}{Gr + L/D} \right)^{3/4} \right)^{\frac{1}{3}}$
McAdams Modeli	$Nu \left( \frac{\mu_w}{\mu_b} \right)^{0.14} = 2.11 (Gz + 0.0182(GrPr)^{3/4})^{1/3}$
Oliver Modeli	$Nu \left( \frac{\mu_w}{\mu_b} \right)^{0.14} = 2.11 (Gz + 0.0083(GrPr)^{3/4})^{1/3}$

Saf su için Nusselt sayısı sonuçlarının literatürdeki modeller ile karşılaştırması 400  $\mu\text{m}$  ve 500  $\mu\text{m}$  genişliklerdeki kanallar için sırasıyla Şekil 7 ve 8 de verilmiştir.



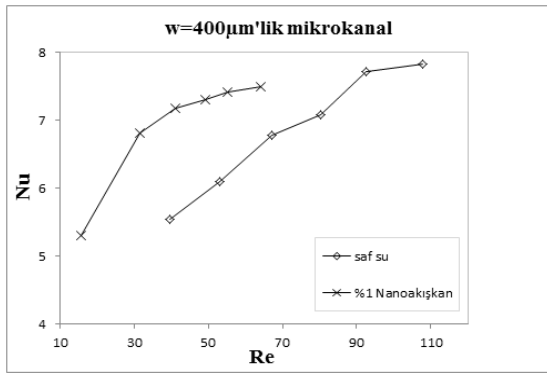
Şekil 7. 400  $\mu\text{m}$  saf su ısı transfer sonuçlarının literatürdeki modeller ile karşılaştırılması



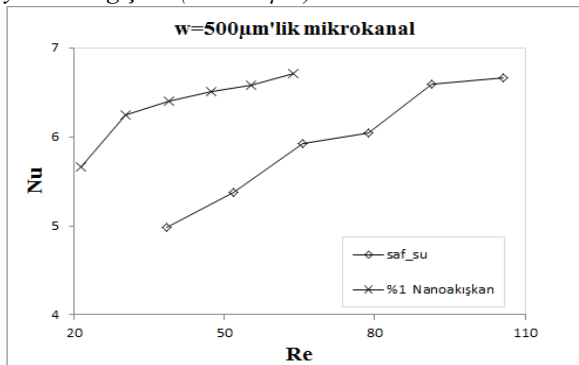
Şekil 8. 500  $\mu\text{m}$  saf su ısı transfer sonuçlarının literatürdeki modeller ile karşılaştırılması

Grafiklerden görüldüğü üzere deneysel veriler ile model tahminleri iyi bir uyum içerisindedirler. Diğer taraftan Eubank Proctor modeli ile Brown ve Thomas modeli benzer eğilim göstermiştir. McAdams modeli ile Oliver modeli benzer eğilim göstermekle beraber Oliver modelinin deneysel sonuçlarla daha uyumlu olduğu görülmektedir. Düşük Reynolds sayılarında

modeller arasındaki ısı transfer tahminleri bir miktar farklıdır fakat Reynolds sayısındaki artış ile bu fark azalmıştır. Artan Reynolds sayısına karşılık Nusselt sayısı hem model tahminlerinde hem de deneysel verilerde artış eğiliminde olduğu görülmektedir. 400  $\mu\text{m}$  ve 500  $\mu\text{m}$  kanal genişliğindeki mikrokanallar içeren ısı alıcılarında saf su ve %1 hacimsel konsantrasyona sahip  $\text{SiO}_2$ -saf su nanoakışkanı için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 9 ve 10 da sunulmuştur. Grafiklerden görüldüğü gibi Reynolds sayısındaki artış Nusselt sayısını her iki iş akışkanında da arttırmıştır. Deneysel parametre olarak seçilen her iki mikrokanal genişliği için de nanopartikül ihtiva eden iş akışkanı saf suya göre daha iyi ısı transferi sağlamıştır.



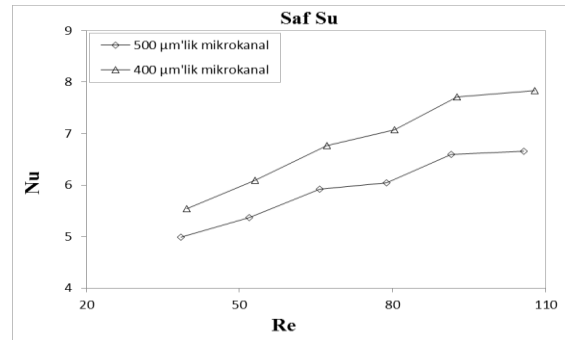
Şekil 9. Farklı akışkanlar için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ( $w=400 \mu\text{m}$ )



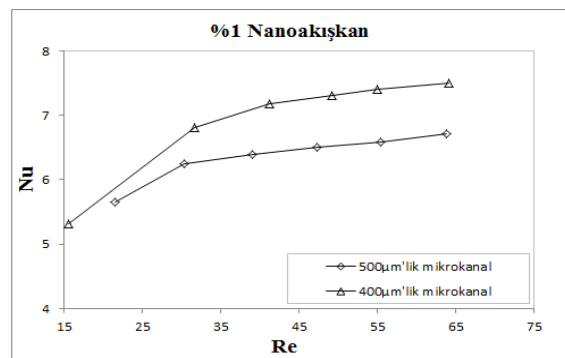
Şekil 10. Farklı akışkanlar için Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ( $w=500 \mu\text{m}$ )

Aynı Reynolds sayısı için, 500  $\mu\text{m}$  kanal genişliğine sahip mikrokanallı ısı alıcıda %1 hacimsel oranda nanoakışkan kullanımı saf suya göre Nusselt sayısını yaklaşık %23 arttırmışken, 400  $\mu\text{m}$  kanal genişliğine sahip mikrokanallı ısı

alıcıda ise bu artış yaklaşık olarak % 28 olmuştur. Mikrokanal genişliğinin Nusselt sayısı üzerindeki etkisinin Reynolds sayısına göre değişimi Şekil 11 ve 12 de verilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan her iki akışkan türünde de kanal genişliğindeki azalma Nusselt sayısının artışı ile karşılık bulmuştur. Test bölgesi tasarımında 500  $\mu\text{m}$  kanal genişliğine sahip 25 adet mikrokanal dizilimi kullanılırken 400  $\mu\text{m}$  kanal genişliğine sahip 31 adet mikrokanal kullanılmıştır. Test bölgesi geometrisinde değişim olmazken kanal sayısındaki artış ısı transfer yüzey alanının artmasını sağlamıştır. Ayrıca, kanal boyutlarının azalmasıyla hidrolik çapın azalması akışkan hızının artmasına sebep olmuştur. Bu da, Nusselt sayısını arttırmış ve ısı transferinde artış meydana getirmiştir. Kanal genişliğindeki 0.1 mm'lik küçülme her iki akışkan için Nusselt sayısını yaklaşık olarak %12 arttırmıştır.



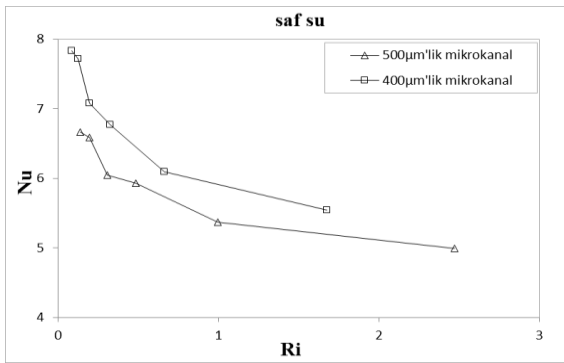
Şekil 11. Saf su için farklı kanal genişliklerinde Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi



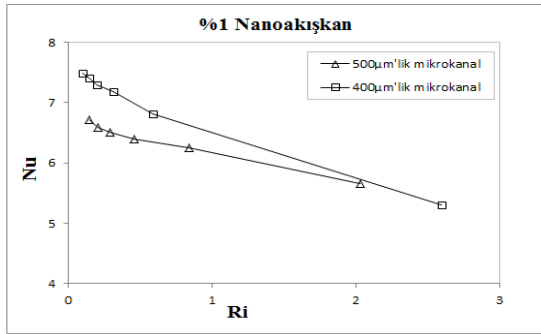
Şekil 12.  $\text{SiO}_2$ -saf su nanoakışkanı için farklı kanal genişliklerinde Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Richardson sayısı, kaldırma kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak tanımlanır. Şekil 13 ve 14

de farklı kanal genişliklerinde her iki akışkan için Nusselt sayısının Richardson sayısı ile değişimi verilmiştir. Richardson sayısı, ısı transferi olayında hangi taşınım mekanizmasının gerçekleştiği konusunda önemli bir parametredir. Eğer Richardson sayısı 1'den çok küçük ise taşınım mekanizması doğal taşınımdır. Richardson sayısı, 1'den çok büyük ise ısı transferi zorlanmış taşınım ile gerçekleşir. Richardson sayısı 0.01 ila 10 aralığında bir değer alması durumunda ise ısı transferinde hem doğal hemde zorlanmış taşınım etkileri görülür. Şekil 13 ve 14 de görüldüğü gibi deneysel çalışma verileri karma taşınım sınırları içerisinde.



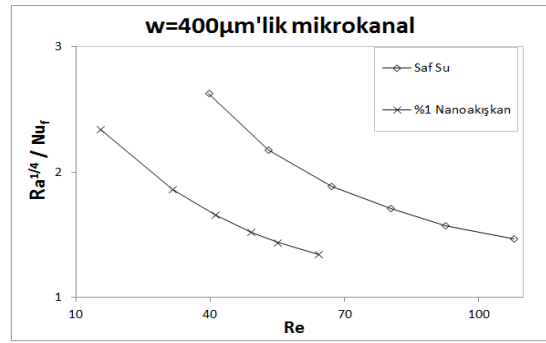
Şekil 13. Saf su için farklı kanal genişliklerinde Nusselt sayısının Richardson sayısı ile değişimi



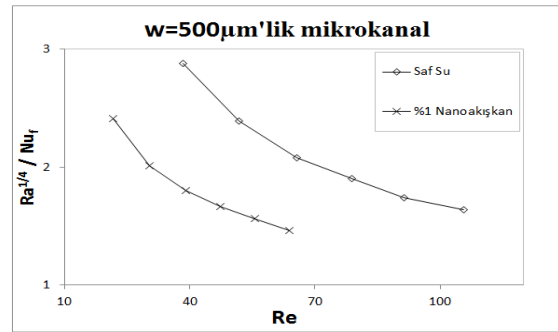
Şekil 14. SiO<sub>2</sub>-saf su nanoakışkanı için farklı kanal genişliklerinde Nusselt sayısının Richardson sayısı ile değişimi

Şekil 15 ve 16 da farklı akışkanlar için sırasıyla 400 µm ve 500 µm'lik mikrokanaillerde Reynolds sayısına karşılık  $Ra^{1/4}/Nu_f$  ifadesinin değişimi gösterilmiştir. Shannon ve Depew (1969) çalışması dikkate alınarak oluşturulmuş  $Ra^{1/4}/Nu_f$  ifadesinde,  $Ra^{1/4}$  terimi karma

taşınımında transfer edilen ısının doğal taşınım ile iletilen kısmını belirtirken,  $Nu_f$  terimi ise zorlanmış taşınım etkinliğini ifade etmektedir. Bir ısı transferi mekanizmasında  $Ra^{1/4}/Nu_f$  ifadesinin 1'e eşit olması doğal ve zorlanmış taşınım etkilerinin eşit olduğu anlamına gelmektedir. Yapılan deneysel çalışmada  $Ra^{1/4}/Nu_f$  ifadesi yaklaşık olarak 1 ila 3 aralığında değerler almıştır. Şekil 15 ve 16 da görüldüğü gibi her iki akışkan için  $Ra^{1/4}/Nu_f$  sayısı azalma meylindedir. Bu da, zorlanmış taşınım etkilerinin doğal taşınımına göre daha baskın olduğu şeklinde yorumlanır. Bunun temel sebebi, Reynolds sayısının artması ile atalet kuvvetlerinin kaldırma kuvvetlerinden daha baskın hale gelmesidir.



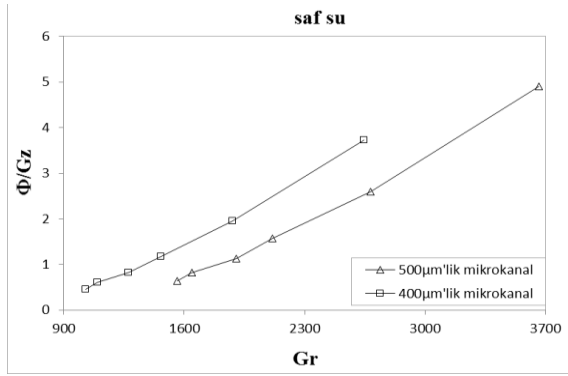
Şekil 15. Farklı akışkanlar için  $Ra^{1/4}/Nu_f$  ifadesinin Reynolds sayısı ile değişimi ( $w=400 \mu m$ )



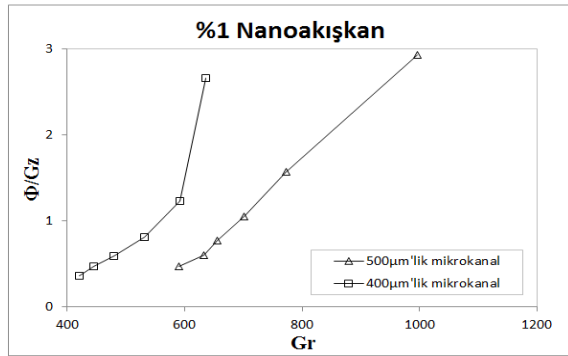
Şekil 16. Farklı akışkanlar için  $Ra^{1/4}/Nu_f$  ifadesinin Reynolds sayısı ile değişimi ( $w=500 \mu m$ )

Şekil 17 ve 18'de sırasıyla saf su ve %1 SiO<sub>2</sub>-saf su nanoakışkanı için  $\Phi/Gz$  ifadesinin Grashof sayısı ile değişimi gösterilmiştir.  $\Phi/Gz$  doğal taşınımın toplam ısı transferine oranını ifade eden bir büyüklüktür, bu ifadenin, farklı kanal genişliklerinde bir Grashof sayısına karşılık

$\Phi/Gz$  ifadesinin büyüklüğü, ısı transfer mekanizmasındaki doğal taşınım etkisini yorumlayabilmemize yardımcı olur. Verilen ısı transferi sonuçlarına göre aynı Grashof sayısında iki akışkan türünde de, kanal genişliğinin azalması doğal taşınım etkilerini arttırmıştır.  $\Phi/Gz$  değerinin artması karma taşınımında doğal taşınım etkilerini arttırdığı gibi sifıra yaklaşması halinde ise doğal taşınım etkilerinden bahsetmek söz konusu değildir. Temel akışkan içerisine  $SiO_2$  partiküllerinin ilave edilmesi  $\Phi/Gz$  değerini bir miktar arttırmıştır. Bu durum Brownian hareketlerinden kaynaklanabilir. Hacimsel partikül konsantrasyonundaki artış Brownian etkilerini artırır, dolayısıyla doğal taşınım etkilerini de arttırmaktadır.



Şekil 17. Saf su için farklı kanal genişliklerinde  $\Phi/Gz$  ifadesinin Grashof sayısı ile değişimi



Şekil 18.  $SiO_2$ -saf su nanoakışkanı için farklı kanal genişliklerinde  $\Phi/Gz$  ifadesinin Grashof sayısı ile değişimi

## Sonuçlar

Deneyler sonucunda elde edilmiş veriler değerlendirilerek aşağıda sonuç ve öneriler sıralanmıştır:

- Saf suya  $SiO_2$  partikülleri ilave edilerek hazırlanan nanoakışkanın, saf suya göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğu belirlenmiştir. En yüksek termal iletkenlik değeri 0,692 W/m.K olarak  $60^\circ C$ 'de  $SiO_2$ -saf su nanoakışkanında ölçülmüştür. Bu şekilde termal iletkenlikte yaklaşık olarak %13 iyileşme sağlanabilmiştir.
- Sıcaklık arttıkça, viskozite değerleri saf su ve  $SiO_2$ -saf su nanoakışkanında azalmıştır. Bütün sıcaklık değerlerinde ( $20^\circ C$ - $60^\circ C$ ) nanoakışkan viskozite eğrisi saf su viskozite eğrisinin üzerinde kalmıştır. Kullanılan nanoakışkan viskozitesinde saf suya göre %55'lik bir artış meydana gelmiştir.
- Kanal genişliğinin azalması ısı transfer yüzey alanının artmasına ve doğal olarak ısı transferinin artmasına sebep olmuştur. Isı transferinin daralan kanal genişliği ile artmasının bir diğer sebebi olarak artan doğal taşınım etkileri gösterilebilir.
- $500\mu m$ 'lik mikrokanaallarda elde edilen sonuçlara göre, Nusselt sayısı, %1 hacimsel oranında nanoakışkan kullanımında saf suya göre yaklaşık %16 artmıştır. Bu artış  $400\mu m$ 'lik mikrokanaallarda %22 civarındadır.
- $Re^{1/4}/Nu_f$  ifadesinin Reynolds sayısı ile değişimi grafikler yardımıyla sunulmuştur. Reynolds sayısının artışı karma taşınım mekanizmasında zorlanmış taşınım etkilerini arttırdığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca kanal genişliğinin azalması aynı Reynolds sayısı için zorlanmış taşınım etkilerini arttırmıştır.
- Aynı iş akışkanında sabit bir Grashof sayısı için  $\Phi/Gz$  ifadesinin kanal genişliğinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Karma taşınım mekanizmasında  $\Phi/Gz$  ifadesinin, doğal taşınım ile ısı transferinin toplam ısı transferine oranı olduğu göz önünde bulundurulursa küçülen kanal genişliği ve artan mikrokanaal sayısı doğal taşınım etkilerini attırdığı düşünülebilir.

## Kaynaklar

- Chabi, A.R., Peyghambarzadeh, S.M., Hashemabadi, S.H. ve Salimi, M., (2017). Local convective heat transfer coefficient and friction factor of CuO/water nanofluid in a microchannel heat sink, *Heat and Mass Transfer*, **53**, 2, 661-671.
- Choi, S.U.S. ve Eastman, J.A., (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *Proceedings, ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 99-105, San Francisco.
- Dang, T. ve Teng, J-T., (2011). The effects of configurations on the performance of microchannel counter-low heat exchangers-An experimental study, *Applied Thermal Engineering*, **31**, 17-18, 3946-3955.
- Domongues, G., Volz, S., Joulain, K. ve Greffet, J.J., (2005). Heat transfer between two nanoparticles through near field interaction, *Physical Review Letters*, **94**, 8, 085901.
- Feng, Z-Z. ve Li, W., (2013). Laminar mixed convection of large-Prandtl-number in-tube nanofluid flow, Part I: Experimental study, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **65**, 919-927.
- Hwang, Y.J., Ahn, Y.C, Shin, H.S., Lee, C.G., Kim, G.T., Park, H.S. ve Lee, J.K., (2006). Investigation on characteristics of thermal conductivity enhancement of nanofluids. *Current Applied Physics*, **6**, 6, 1068-1071.
- Izadi, M., Shahmardan, M.M. ve Behzadmehr, A., (2013). Richardson number ratio effect on laminar mixed convection of a nanofluid flow in an annulus, *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*, **14**, 4, 304-316.
- Malvandi, A. Ve Ganji, D.D., (2014). Mixed convective heat transfer of water/alumina nanofluid inside a vertical microchannel, *Powder Technology*, **263**, 37-44.
- Manay, E., Sahin, B., Yilmaz M. ve Gelis, K., (2012). Thermal performance analysis of nanofluids in microchannel heat sinks, *WASET International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, **6**, 7, 1130-1135.
- Manay, E. ve Sahin, B., (2017). Heat transfer and pressure drop of nanofluids in a microchannel heat sink, *Heat Transfer Engineering*, **38**, 5, 510-522.
- Mirmasoumi, S. ve Behzadmehr, A., (2008). Numerical study of laminar mixed convection of a nanofluid in a horizontal tube using two-phase mixture model, *Applied Thermal Engineering*, **28**, 7, 717-727.
- Mokarani, O., Bourouga, B., Catelain, C. ve Peerhossaini, H., (2009). Fluid flow and convective heat transfer in flat microchannels, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **52**, 5-6, 1337-1352.
- Prasher, R., Phelan, P.E. ve Bhattacharya, P., (2006). Effect of aggregation kinetics on the thermal conductivity of nanoscale colloidal solutions (nanofluid), *Nano Letters*, **6**, 7, 1529-1534.
- Sahin, B., Gedik, G., Manay, E. ve Karagoz, S., (2013). Experimental investigation of heat transfer and pressure drop characteristics of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nanofluid. *Experimental Thermal and Fluid Science*, **50**, 21-28.
- Sahin, B., Manay, E. ve Akyürek, E. F., (2015). An experimental study on heat transfer and pressure drop of CuO-water nanofluid, *Journal of Nanomaterials*, **2015**, 1-10.
- Shannon, R.L. ve Depew, C.A., (1969). Forced laminar flow convection in a horizontal tube with variable viscosity and free-convection effects, *Journal of Heat Transfer*, **91**, 2, 251-258.
- Singh, H. ve Randhawa, H.S., (2015). Numerically study on heat transfer performance of microchannels heat sink with different shape by using n-octane, *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, **1**, 10, 63-67.
- Tang, H.H., Li, Z., He, Y.L. ve Tao, W.Q., (2007). Experimental study of compressibility, roughness and rarefaction influences on microchannel flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **50**, 11-12, 2282-2295.
- Yang, C., Peng, K., Nakayama, A. ve Qiu T., (2016). Forced convective transport of alumina-water nanofluid in micro-channels subject to constant heat flux, *Chemical Engineering Science*, **152**, 311-322.
- Yu, W., Xie, H., Chen, L. ve Li, Y., (2009). Investigation of thermal conductivity and viscosity of ethylene glycol based ZnO nanofluid, *Thermochimica Acta*, **491**, 1-2, 92-96.
- Zanchini, E., (2008). Mixed convection with variable viscosity in a vertical annulus with uniform wall temperatures. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **51**, 1-2, 30-40.
- Zhang, X., Gu, H. ve Fujii, M., (2007). Effective thermal conductivity and thermal diffusivity of nanofluids containing spherical and cylindrical nanoparticles, *Experimental Thermal and Fluid Science*, **31**, 6, 593-599.



## Experimental investigation of mixed convection properties of SiO<sub>2</sub>-water nanofluids in a microchannel heat sink

### Extended abstract

Developments in micro manufacturing technologies have enabled the production of smaller devices and systems with increased functionality. The effective removal of the increased thermal loads from the system and keeping the system temperature in the desired operating range is important for system reliability and safe working conditions. On the other hand, the lack of sufficient cooling surface in the miniaturized and complex electronic systems has made it impossible to remove the heat released during operation of the devices with the traditional thermal management methods. This situation has forced researchers to develop different methods to ensure effective heat transfer enhancement. The use of nanofluids obtained by suspension of nano-sized particles into the base fluid has attracted the interest of researchers working in this field. When the literature on the mixed transport performance of nanofluids in microchannels is examined, it is observed that numerical studies are in the majority. However, these numerical studies need to be confirmed by experimental studies in many aspects.

With this experimental study, it is aimed to make an experimental contribution to existing literature. In the experiments, two different microchannel heat sinks consisting of 31 microchannels with 400 $\mu$ m channel width and 26 microchannels with 500 $\mu$ m channel width were used as heat exchangers. Deionized water and SiO<sub>2</sub>- deionized water nanofluids with a 1% volumetric concentration were used as working fluids. In this way, the effect of nanofluid use with high thermal performance instead of conventional work fluid was investigated in microchannels. First, thermal conductivity and viscosity characterization were made for SiO<sub>2</sub>- deionized water nanofluid and deionized water in 20-60°C temperature range. Two step method was applied for nanofluid preparation. In the two-step method, the first step is the production of nanoparticles. The second step is to mix the nanoparticles into the fluid by appropriate methods. Two-step method was preferred for nanofluid preparation due to its advantages in stability, solubility and lack of particle clustering. The prepared nanofluid mixture was taken into the homogenizer for 7 hours and subjected to stabilization. It was observed that the nanofluid had

a stable structure after 48 hours of stabilization period.

The experiments were carried out under the constant surface heat flux boundary condition and 80 W uniform constant electrical power was applied to the test area. Two cartridge heaters with diameter of 6mm were used to ensure constant heat flux conditions in the test region. In addition, to measure microchannel surface temperatures, there were fifteen thermocouple slots of 1 mm diameter on the bottom surface of each block. The temperature data of the thermocouples placed in the slots were transferred to the data logger. Also, in order to measure fluid inlet and outlet temperatures in microchannels, two thermocouples were used. The Reynolds number was remained between 20-110 in order to examine the effects of mixed convection in the transport mechanism.

According to thermal conductivity measurements, it was determined that the nanofluid prepared by adding SiO<sub>2</sub> particles to deionized water had higher thermal conductivity than deionized water. The highest thermal conductivity value was measured in SiO<sub>2</sub>-deionized water nanofluid at 60 ° C as 0.692 W/mK. In this way, approximately 13% improvement in thermal conductivity was achieved. In viscosity measurement, viscosity curve of nanofluid remained above that of deionized water viscosity curve at all temperature values. The nanofluid viscosity increased 55% compared to deionized water.

Heat transfer measurements revealed that the use of nanofluids in 1% volumetric ratio increased the Nusselt number by 22% in the heat sink having 400 $\mu$ m wide microchannels as compared to pure water, while this value was calculated as 16% in the microchannel heat sink with a width of 500 $\mu$ m. The natural convection effects increased with decreasing channel width and increased number of microchannels.

It is concluded that the increase of Reynolds number increased the effects of forced convection on the mixed convection. On the other hand, the increase in the Grashof number triggered the increase of the buoyancy forces, thus enhancing the natural convection component in the mixed convection mechanism.

**Keywords:** SiO<sub>2</sub>-water nanofluid, mixed convection, microchannel heat sink, heat transfer enhancement.



## Difüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilmiş Ti6Al4V ve AA7075 levhaların bağlantı süresinin mekanik özelliklere etkisi

### Haluk KEJANLI

Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır  
[kejanlih@dicle.edu.tr](mailto:kejanlih@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0002-4987-6316, Tel: (412) 241 10 00 (3594)

### M.Selçuk KESKİN

Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır  
[mselcuk.keskin@dicle.edu.tr](mailto:mselcuk.keskin@dicle.edu.tr) ORCID:0000-0001-6233-1807, Tel: (412) 241 10 00 (3607)

### Sedat BİNGÖL\*

Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır  
[sbingol@dicle.edu.tr](mailto:sbingol@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0002-4290-4193, Tel: (412) 241 10 00 (3598)

Geliş:07.01.2019, Kabul Tarihi: 26.02.2019

### Öz

Ti6AL4V ve AA7075 alaşımları havacılık, uzay ve otomotiv endüstrilerinde sıklıkla kullanılan malzemelerdir. Ti6Al4V titanyum ve AA7075 alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve yüksek korozyon dayanımından dolayı sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada Ti6AL4V ve AA7075 alaşımlardan hazırlanmış levhaların difüzyon kaynağı yöntemiyle kaynak edilebilirliği ve mekanik özelliklerine difüzyon kaynak süresinin etkisi araştırılmıştır. Titanyum ve alüminyum alaşımlı plakalar, 55 µm kalınlığında alüminyum aratabaka kullanılarak 550 °C'de sabit sıcaklıkta, farklı sürelerde (30, 45, 60 ve 75 dakika), atmosfer kontrollü yüksek sıcaklık fırınında difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş, elde edilen kaynaklı örneklerin mukavemetlerini belirlemek için, çekme ve mikrosertlik testleri uygulanmıştır. Malzemelerin birleşme ara yüzeylerinin morfolojisi optik mikroskop ile incelenerek ara tabakadan ana malzemelere olan difüzyon irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Difüzyon; Ti6Al4V; AA7075; Mikrosertlik; Çekme Mukavemeti.

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Difüzyon kaynağı, otomotiv, havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılan önemli bir üretim tekniği olup benzer ve benzer olmayan malzemelerin birleştirilmesi işlemidir. Bu birleştirme tekniği alışılmışın dışında bir birleştirme işlemidir (Ghosh vd., 2003; Barrena vd., 2009).

Titanyum ve alüminyum alaşımları, düşük yoğunlukları, üstün özellikleri ve yüksek özgül mukavemetleri nedeniyle tercih edilirler (Peters, vd; 2003; Bazarnik vd., 2016). Titanyum yüksek sıcaklığa dayanıklı, korozyona karşı dirençli, mukavemeti yüksek ve düşük ısıl iletkenliğe sahip bir metaldir. Alüminyum ve titanyumdan yapılan yapısal bileşenler, havacılık, uzay ve savunma sanayinde önemli rol oynar (Bazarnik vd., 2016; Armendia vd., 2010; Çalığıülü, 2016; Zhang, vd., 2016). Bu malzemeler ayrıca; yapı malzemeleri, otomotiv, ortopedik implant, diş implantı, spor malzemeleri ve cep telefonları gibi diğer uygulamalar için de önemlidir. Alüminyum kullanılarak ağırlık ve maliyetlerin azaltılması ve titanyum kullanılarak mukavemetin ve korozyon direncinin artırılması, bu farklı malzemelerin birleştirilmesi için ana sebeptir. Bu bağlamda, katı hal kaynağı işlemlerinden biri olan difüzyon kaynağı son zamanlarda araştırmacıların önemli derecede ilgisini çekmektedir (Simões, vd., 2018; Kicukov, ve Gursel, 2015). Araştırmalara göre; birçok farklı metal katı hal kaynağı kullanılarak da birleştirme işlemi gerçekleştirilebilmektedir (Pilchak, ve Broderick, 2013; Simões, vd., 2013; Avery, 1991; Balasubramanian, 2016).

Difüzyon kaynağında kaynak mukavemeti, kaynak parametreleri olarak bilinen, basınç, sıcaklık, bekleme süresi ve ara tabaka önemli parametreler arasındadır (Duarte, 2006). Bu parametrelerden difüzyon zamanı (bekleme süresi), yüksek kaliteye sahip bir arayüzey elde etmek için optimize edilmelidir (Akca, ve Gursel, 2015; Xue, vd., 2015; Tomashchuka, vd., 2015).

Bu çalışmada, Ti6Al4V ve AA7075 malzeme çifti, 55µm kalınlığında alüminyum ara tabaka kullanılarak argon gazı atmosferi altında sabit basınç (3 MPa), sabit sıcaklık (550 °C) ve dört farklı bekleme sürelerinde (30, 45, 60 ve 75 dakika) difüzyon kaynağı yöntemi ile birleştirilmiştir. Numunelerin birleştirilmesinde kaynak süresi tek değişkenli kaynak parametresidir. Kaynak sıcaklığı değişmeden kaldığı için, kaynak süresinde bir artış aynı zamanda toplam enerji girdisinde kaynak işleminde bir artışa karşılık gelir.

Numunelerin kaynak bölgelerinin yüzey morfolojileri optik mikroskop ile incelenerek, malzemelerin birleşme bölgelerinin mukavemetleri, mikrosertlik ve çekme testi uygulanarak belirlenmiştir.

## Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada piyasadan ticari olarak temin edilen Ti6Al4V alaşımı ve AA7075 alaşımı malzemeler kullanılmış, bu malzemelerin kimyasal bileşimi Tablo 1'de kullanılan alüminyum aratabakanın özellikleri de Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Ti6Al4V ve AA7075 alaşımlarının kimyasal kompozisyonu

Ti6Al4V	Element	Al	V	Fe	O	C	N	Cr	Ni	Ti
	(%) Ağırlık	6.05	4.01	0.1	0.01	0.01	0.01	-	-	Kalan
AA7075	Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
	(%) Ağırlık	0.3	0.25	1.8	0.25	2.5	0.2	5.8	0.1	Kalan

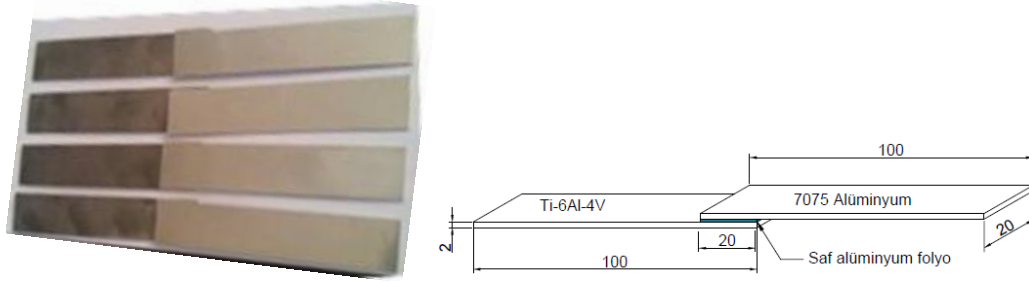
Tablo 2. Alüminyum aratabakanın kimyasal kompozisyonu

Al 1050	Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
	(%)Ağırlık	0,14	0,25	0,00	0,00	0,007	0,000	0,01	0,01	99,52

Ticari olarak sıcak haddelenmiş Ti6Al4V ve AA7075 alaşımları içeren 2 mm kalınlığındaki levhalar, piyasada lazer kesim yöntemi ile 100x20 mm ebatlarında kesilmiştir. Difüzyon kaynağında kaynak işlemini hızlandırmak, birleşme sıcaklığını daha düşük derecelerde indirebilmek ve kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini geliştirmek için (Çalığılü, 2016) birleşme bölgesinde 55 µm kalınlığında alüminyum aratabaka (Al 1050) kullanılmıştır. Difüzyon kaynağı yapılırken numunelerin oksitlenmemesi için argon gaz ortamında kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sağlıklı olması açısından her bir numuneden üç adet üretilmiştir.

### Difüzyon Kaynağı

100x20x2 mm boyutlarında kesilmiş numuneler (Şekil 1), 400, 600, 800 ve 1000 mesh'lik zımpara ile yüzeyleri temizlenmiş, 20 mm'lik kısmı üst üste gelecek şekilde (Şekil 1), silisyum karbür çubuklu fırına 3 lt/dak debide, % 99,9 saflıkta argon gazı gönderilerek kaynak işlemine başlanmıştır. Kaynak işlemi 30, 45, 60 ve 75 dakika bekleme süresinde ve 550 °C sıcaklıkta, özel olarak imal edilmiş bir mengene ile 3 MPa basınç altında gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminde uygulanan parametreler Tablo 3'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kaynak öncesi hazırlanan çekme deney numuneleri ve numunelerin bağlantı geometrisi.

Tablo 3: Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri

Kaynak Parametreleri	Çekme Numuneleri			
	1	2	3	4
Sıcaklık (°C)	550	550	550	550
Süre (dk.)	30	45	60	75
Basınç (MPa)	3	3	3	3

Difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilen numuneler fırın sıcaklığı 150 °C'ye düşünceye kadar argon gaz atmosferinde fırın içerisinde tutulmuş, daha sonra soğuyuncaya kadar oda sıcaklığında bekletilmiştir. Ayrıca; deney numunesine kaynak sonrası uygulanacak olan mikrosertlik ölçümleri, çekme deneyi ve optik inceleme analizlerinin yöntemi belirlenmiştir.

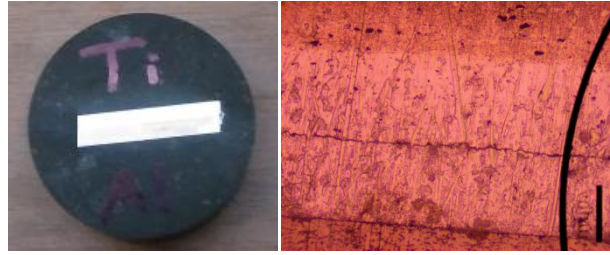
### Deneyel sonuçlar ve tartışma

#### Metalografi (optik mikroskop ile muayene)

Difüzyon kaynağı ile farklı bekleme sürelerinde birleştirilen numuneler kaynak yüzeyine dik doğrultuda kesilmiş ve aratabakalı kaynaklı bölge sıcak bakalitlere alınmıştır (Şekil 3). Bakalite alınan numuneler 1,5 mm deriliğe kadar 400, 600, 800, 1000 ve 2000 mesh'lik zımpara ile yüzeyleri temizlenmiş, sırasıyla yüzeyleri 9, 6 ve 3 µm elmas pasta ile çuhada parlatılmış alkolle yıkanmış ve sonrasında hava ile kurutulmuştur. Parlatılmış yüzeyler 92 ml

H<sub>2</sub>O, 6 ml HNO<sub>3</sub> ve 2 ml HF kompozisyonu (Kroll reaktifi) ile dağlamıştır. Dağlanan

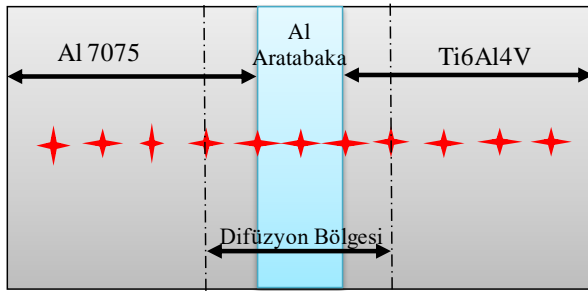
numuneler optik mikroskopla incelendikten sonra mikrosertlik testi uygulanmıştır.



Şekil 3: Bakalite sabitlenen numune ve optik görüntüsü 50x

### Mikrosertlik karakterizasyonu

Sertlik ölçümleri AOB marka Vickers sertlik ölçüm cihazıyla aratabakanın orta noktası referans alınarak bir hat boyunca sertlik taraması gerçekleştirilmiş, sertlik ölçüm noktalarının dağılımı Şekil 4’de gösterilmiştir.

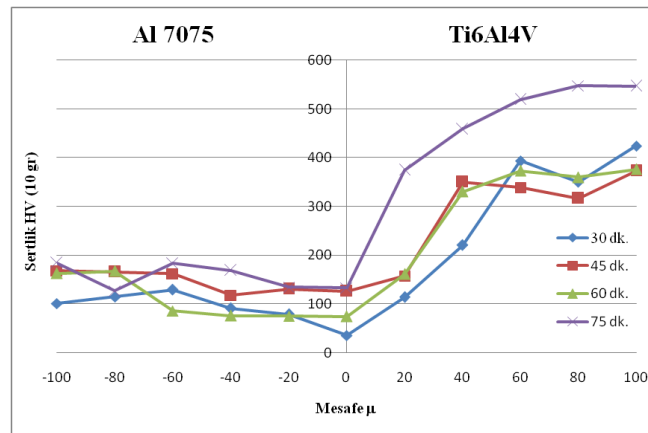


Şekil 4. Şematik olarak mikrosertlik alınan noktalar.

numunelerin ara yüzeylerinin her iki tarafında 20 µm’lik aralıklarla 10 gr yük altında yükün 10 sn uygulamasıyla gerçekleştirilmiştir. Belirtilen değerler 3 okumanın ortalamasıdır. Üretilen tüm kaynakların mikrosertlik profili, kaynak üst yüzeyinin 1,5 mm altında bir derinlikte gerçekleştirilmiştir

Sertlik değerleri; Ti6Al4V ve AA7075 metal çiftlerinin, aratabaka, ana metallerin difüzyondan etkilenmiş bölgeleri ve ana metallerin kaynak bölgesi taranarak alınmıştır. Şekil 5’te difüzyon kaynak yöntemi ile 550 °C sıcaklık ve farklı bekleme sürelerinde birleştirilmiş Ti6Al4V titanyum alaşımı ve AA7075 alüminyum alaşımı malzemelere ait sertlik grafikleri verilmiştir.

Deney örneklerinin sertlik ölçümleri



Şekil 5. Ti6Al4V ve AA7075 malzemelere ait mikrosertlik değeri

Mevcut çalışma, Vickers mikrosertliğinin ve çekme dayanımının, kaynak bekleme süresinin artması ile önemli bir yükselme sergilediğini göstermektedir. Mikrosertlikteki bu artış, kaynakların ara yüzeyinde alüminyumun tipik kaynaklarında belirlenen yumuşama eğilimine kıyasla inter-metalliklerin varlığından kaynaklanan yüksek pikler ile karakterize olduğu gözlenmiştir. Ara yüzeyde kaynaktan önce Al 1050'nin HV sertliği 30 iken kaynak işleminden sonra ara yüzey sertliği 133,2 HV, AA7075'in 175 HV 'den 183,9 HV ve Ti6Al4V malzemenin sertliği ise 349 HV'den daha yüksek 547 HV olarak ölçülmüştür. Kaynaklı malzemelerin ara yüzey bölgelerindeki ve ana malzemelerin yüzeylerindeki mikrosertlik değerlerinde ki artışın sebebi, kaynak işlemi sırasında bölgelerde meydana gelen plastik deformasyona ve ayrıca inter-metalik bileşiklerin mevcudiyetine bağlı olarak yorumlanmıştır.

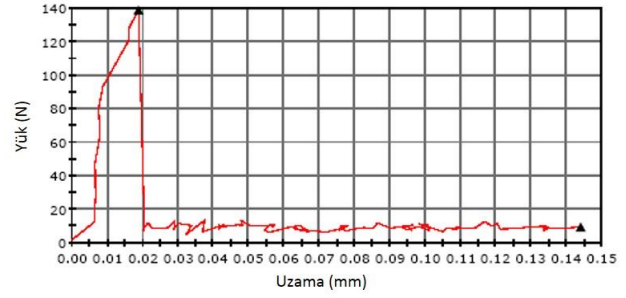
### Çekme Testleri

Deneysel çalışmada Instron BS 8801 çekme test cihazı kullanılmıştır (Şekil 6). Difüzyon kaynağı yapılmış çekme test numunelerinin iki ucundan tutularak kopma hasarı gerçekleşinceye kadar 1 mm/dak hızla yük uygulanmış ve yük-uzama değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 6. Çekme cihazı ve kaynaklanmış numuneler

Çekme testi sonunda 30 dak. sürede birleştirilen numunede Şekil 7'de görülen yük-uzama grafiği elde edilmiştir.

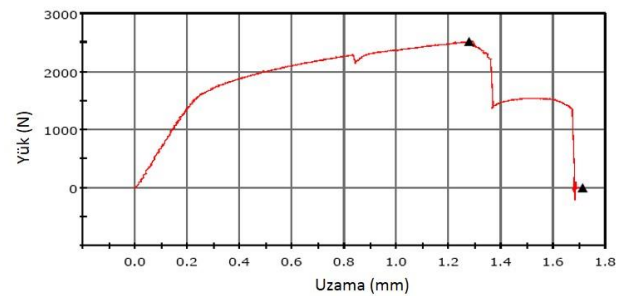


Şekil 7. 30 dakika sürede birleştirilen malzemenin yük-uzama grafiği

Malzemelerin kaynağında yetersiz birleşme süresi atomik difüzyonu etkiler bu durum da bağlanma mukavemetini etkileyerek 30 dakikalık bekleme süresinde çekme mukavemetinin oldukça düşük çıkmasına neden olmuştur (138,87 N).

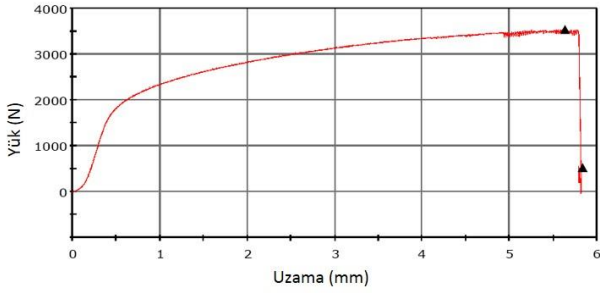
Şekil 8'de görüldüğü gibi yük-uzama grafiği lineere yakın bir karakter göstermektedir. 1,27 mm uzama değerinden sonra nispetten yetersiz sürenin neden olduğu düşük bağlantı mukavemetinden dolayı yük-uzama grafiği bir miktar düşmüş daha sonra malzeme kaynak bölgesinden kopmuştur. Elde edilen maksimum kopma mukavemeti 2514,38 N olarak ölçülmüştür.

45 dak. sürede birleştirilen numunelerde çekme testi sonunda Şekil 8'de görülen yük-uzama grafiği elde edilmiştir.



Şekil 8. 45 dak. sürede birleştirilen numunenin yük-uzama grafiği

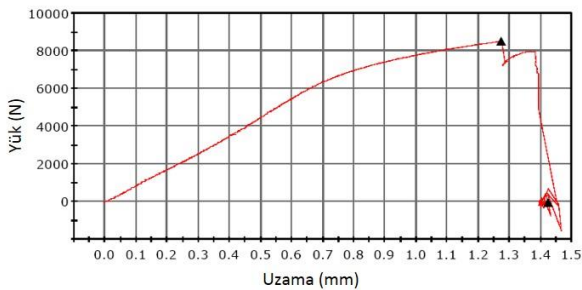
Sıcaklığın 550 °C'de sabit tutulmasına rağmen 60 dakikalık sürede birleştirilen numunelerde artan kaynak süresi atomik difüzyon hızını arttırmış hem birim uzama hem de kopma mukavemetinin 3536,19 N değerine yükselmesine neden olmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. 60 dak. sürede birleştirilen malzemenin yük-uzama grafiği

75 dakika bekleme süresinde birleştirilen malzemelerde bağlanma süresinin gerilme mukavemeti üzerine etkisi Şekil 10'da gösterilmiştir.

Malzemelerin bağlanma sıcaklığı 550 °C olduğunda, atomların termal uyarımı düşüktür. Alüminyumun Ti6Al4V içerisinde çözünürlüğü sınırlıdır; bu durum arayüzeyde boşluklar kalmasına bunun sonucunda da çekme mukavemetinin düşük çıkmasına neden olabilmektedir. Bu çalışmada bağlanma sıcaklığı artan süre ile birlikte atomik difüzyonun arttığını göstermiştir (Tomashchuka, vd., 2015). Artan kaynak süresi difüzyon bağlarının güçlenmesine neden olmuştur. Bunun sonucunda 8509,83 N gibi yüksek bir hasar yükü değerine ulaşmıştır.



Şekil 10. 75 dak. sürede birleştirilen malzemenin yük-uzama grafiği

Çekme test sonuçlarına göre 550 °C sabit sıcaklıkta, 30, 45 ve 60 dakika bekleme sürelerinde birleştirilen numuneler kaynak bölgesinden kopmasına rağmen, 75 dakika bekleme süresinde kaynaklanan numuneler AA7075 ana malzemenin yüzeyinden kopmuştur. Bu sonuç 75 dakika sürede

birleştirilen örneklerin kaynak bölgesinin mukavemetini göstermiştir.

Elde edilen yük-uzama grafiklerinden bağlantının hasar yükü değerine ulaşılmıştır. Çekme testi sonunda Tablo 4'te görülen sonuçlar elde edilmiştir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada titanyum (Ti6AL4V) ve alüminyum (AA7075) alaşımları 55µm kalınlığında AA1015 alüminyum aratabaka kullanılarak argon gazı atmosfer kontrollü fırında 3 MPa statik basınç altında, 550 °C sıcaklıkta, dört farklı (30, 45, 60 ve 75 dakika) bekleme süresinde difüzyon kaynağı yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Numunelerin kaynak mukavemetleri mikrosertlik ve çekme testleriyle değerlendirilip, sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

1. Ti6Al4V ve AA7075 malzemelerin alüminyum aratabakalı difüzyon kaynağı ile birleştirilmesinde, kaynak parametrelerinden bağlanma süresi, atomik difüzyonu ve birleşme bölgesi eklem morfolojisini etkileyen difüzyon bağlanma sürecindeki baskın parametredir.
2. Difüzyon kaynağında bekleme süresinin az olması yetersiz bir birleşmeye sebep olabilmektedir. Difüzyon kaynak bekleme süresi arttırılırsa, kaynak bölgesindeki sertlik değeri de artar.
3. Bağlanma süresi 75 dakikanın altında olduğunda, atomların termal uyarımı düşük olduğundan alüminyumun çözünürlüğü sınırlıydı, kısa sürelerde çekme mukavemetinin düşük çıkması ara yüzeyde boşlukların kaldığının düşünülmesine neden oldu ve sonuçta çekme mukavemetleri de yetersiz çıktı. Artan süre atomik difüzyonun arttırarak çekme mukavemetinin yükselmesine neden oldu.
4. Mikro sertlik sonuçları, AA7075 bölgesinden ara yüzeye doğru bir miktar düşüş gösterip titanyum tarafına doğru gittikçe artmış ve

taranan bölgelerde en yüksek sertlik değeri 547 HV ile 75 dakika sürede birleştirilen Ti6Al4V bölgesinde elde edilmiştir.

5. Çekme testi sonucunda, en yüksek çekme dayanımı 550 °C sıcaklık ve 75 dakikalık sürede kaynaklanan numunede 8509,86 N

olarak tespit edilmiştir. Kopma difüzyon kaynak bölgesinden değil AA7075 yüzeyden kopmuş ve bu sonuçla kaynak bölgesinin mukavemetinin, ana malzemelerden biri olan AA7075'den çok daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

## Kaynaklar

- Akca, E.,Gursel, A., (2015). The importance of interlayers in diffusion welding, *Period. Eng. Nat. Sci.*, 3, 12–16.
- Armendia, M.,Garay, A., Iriarte, L.-M., Arrazola, P.-J., (2010). Comparison of the machinabilities of Ti6Al4V and TIMETAL® 54M using uncoated WC–Cotools., *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 210, Issue 2, 19. Pages 197-203.
- Avery, R.E., (1991). Pay Attention to Dissimilar Metal Welds; *Nickel Development Institute*: Toronto, ON, Canada, pp. 1–7.
- Balasubramanian, M., (2016). Characterization of diffusion-bonded titanium alloy and 304 stainless steel with Ag as an interlayer, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 82:153–162.
- Barrena, M.I.,Matesanz, L., GómezdeSalazar, J.M., (2009). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ti6Al4V diffusion bonding joints using Ag–Cu interlayer, *Materials Characterization*, Volume 60, Issue 11, Pages 1263-1267.
- Bazarnik, P.,Adamczyk-Cieślak, B., Gałka, A., Płonka, B., Snieżek, L., Cantoni, M.,
- Lewandowska, M., (2016). Mechanical and microstructural characteristics of Ti6Al4V/AA2519 and Ti6Al4V/AA1050/AA2519 laminates manufactured by explosive welding., *Materials & Design*, Volume 111, 5, Pages 146-157.
- Çalgılı, U., (2016). Ti6Al4V alaşımının gümüş aratabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliği, *DUMF Mühendislik Dergisi*, Cilt:7 Sayı: 3, Sayfa 577-586.
- Duarte, L.I.,Ramos, A.S., Vieira, M.F., Viana, F., Vieira, M.T., Koçak, M., (2006). Solid-state diffusion bonding of gamma-TiAl alloys using Ti/Al thin films as interlayers, *Intermetallics*, Volume 14, Issues 10–11, Pages 1151-1156.
- Ghosh, M., Bhanumurthy, K., Kale, G.B., Krishnan, J., and Chatterjee, S., (2003). Diffusion bonding of titanium to 304 stainless steel, *Journal of Nuclear Materials*, V. 322, p. 235-241.
- Kicukov, E.,Gursel, A., (2015). Ultrasonic welding of dissimilar materials; A review. *Period. Eng. Nat. Sci.*, 3, 28–36.
- Peters, M.,Kumpfert, J., Ward, C.H., and Leyens, C., (2003). Titanium Alloys for Aerospace Applications, *Advanced Engineering Materials*, 5 (6): 419 – 427.
- Pilchak, A.L., Broderick, T.F., (2013). Evidence of a Massive Transformation in a Ti-6Al-4V Solid-State Weld. *JOM*, Vol. 65, No. 5.
- Simões, S.,Viana, F., Ramos, A.S., Vieira, M.T., Vieira, M.F., (2018). Diffusion Bonding of TiAl to Ti6Al4V Using Nano layers, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Volume 27, Issue 10, pp 5064–5068.
- Simoões S., Viana F., Ramos A.S., Vieira M.T., Vieira, M.F., (2013). Reaction zone formed during diffusion bonding of TiNi to Ti6Al4V using Ni/Ti nano layers, *Journal of Materials Science*, 48: 7718. S 10853-013-7592-2
- Tomashchuka, I., Sallamanda, P., Cicalaa, E., Peyreb, P., Greveya, D., (2015). Direct keyhole laser welding of aluminum alloy AA5754 to titanium alloy Ti6Al4V, *Journal of Materials Processing Technology*, 217 96–104.



- Xue, Z., Yang, Q., Gu, L., Hao, X., Ren, Y., Geng, Y., (2015). Diffusion bonding of TiAl based alloy to Ti-6Al-4V alloy using amorphous interlayer, *Materials Science Engineering Technology*, 46, No. 1.
- Zhang, C.Q., Robson, J.D., Prangnell, P.B., (2016). Dissimilar ultrasonic spot welding of aerospace aluminium alloy AA2139 to titanium alloy TiAl6V4, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 231, Pages 382-388.

## **The effect of connection time of the Ti6Al4V and AA7075 plates joint with diffusion welding method on mechanical properties**

### **Extended abstract**

*The diffusion welding is an important manufacturing technique used in the automotive, aerospace industry. This technique is an unusual joining process because both same and different materials can be joined with this technique.*

*As different materials, titanium and aluminum alloys are widely preferred due to their low density and high specific strength. Titanium is a high temperature resistant, corrosion resistant, resistant and low thermal conductivity metal. Structural components made of aluminum and titanium play an important role in aerospace and defense industry. These materials are also important for other applications such as building materials, automotive, orthopedic implants, dental implants, sports equipment and mobile phones.*

*In this study, the effect of diffusion welding time on the weldability and mechanical properties of plates prepared from Ti6Al4V and AA7075 alloys by diffusion welding method was investigated. Titanium and aluminum alloy plates are joined with diffusion welding in atmosphere controlled high temperature furnace at different temperatures (30, 45, 60 and 75*

*minutes) and constant temperature of 550°C using an aluminum interlayer with 55 µm thick to determine the strength of welded samples with the realized tensile and micro hardness tests.*

*The most effective parameter in the joining region morphology of the diffusion welding of Ti6Al4V and AA7075 is welding duration time. This parameter is also atomic diffusion. If the welding duration time increases, the hardness of joining region increases.*

*When the bonding time was less than 75 minutes, the solubility of aluminum was limited because of the low thermal stimulation of the atoms. Increased time increased the atomic diffusivity and increased the tensile strength. The micro hardness results in the around of the joining region showed that the micro hardness decreased slightly from AA7075 side toward the interlayer of the joining region, however the micro hardness increased from interlayer toward Ti6Al4V side. The maximum micro hardness value of 547 HV was obtained in the joining region of Ti6Al4V side for 75 minutes duration time.*

*The tensile tests were also performed and the maximum tensile strength of 8509.86 was obtained for a temperature of 550 °C and duration of 75 minutes. The fracture didn't occur in the joining region. It occurred in the AA7075 side. This shows that the strength of joining region is higher than main material of AA7075.*

**Keywords:** Diffusion, Ti6Al4V, AA7075, Micro hardness, Tensile Strength.



# Atık Yağlama Yağından Elde Edilen Yakıt-Motorin Karışımlarının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarının Araştırılması

**Mahmut DEMİR**

Yesrib Doğalgaz, Diyarbakır

[muh.mahmutdemir@gmail.com](mailto:muh.mahmutdemir@gmail.com) ORCID: 0000-0003-4014-8627, Tel: (412) 257 32 13

**Orhan ARPA \***

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

[orhana@dicle.edu.tr](mailto:orhana@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0001-8129-1548, Tel: (412) 241 10 00 (3597)

**Recep YUMRUTAŞ**

Gaziantep Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

[yumrutas@gantep.edu.tr](mailto:yumrutas@gantep.edu.tr) ORCID: 0000-0001-9006-198X, Tel: (342) 317 25 20

Geliş: 06.02.2019 , Kabul Tarih: 20.02.2019

## Öz

Endüstrideki hızlı gelişime bağlı olarak atıkların da hızlı bir şekilde arttığı ve çevreyi kirlettiği bilinmektedir. Bu atıkların çevre üzerindeki zararlı etkilerini azaltmak için geri dönüştürme yapılmalıdır. Bunu yaparken de çevreyi kirletmemek gerekir. Bu amaç ile bir çalışma yapılmıştır. Atık yağlama yağlarından (DBY) pirolitik distilasyon yöntemiyle elde edilmiş olan yakıt hacimce %20, %40 ve %60 oranlarında standart motorine katılarak dizel motorunda yakıt olarak kullanılmıştır. Motorun torku, Özgül yakıt tüketimi ve güç gibi performans parametreleri ile azot oksitler ( $NO_x$ ), karbon monoksit (CO), oksijen ( $O_2$ ), hidrokarbonlar (HC) ve hidrojen sülfür ( $H_2S$ ) gibi emisyon parametreleri deneysel olarak incelenmiştir. Motor hızının artırılmasına bağlı olarak CO emisyonu tüm yakıt karışımları için azalmaktadır. %40 dizel benzeri yakıt - %60 dizel yakıt karışımı 1000 dev/dak ve 2000 dev/dak hızlarında motorine göre yüksek emisyon değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte motorin ile karşılaştırıldığında  $CO_2$  emisyonlarının yakıt numuneleri için daha düşük olduğu tespit edilmiştir. 2500 motor devrindeki %20 dizel benzeri yakıt - %80 dizel yakıt karışımı yakıtının emisyonu hariç tüm NO ve  $NO_x$  emisyonlarının dizel yakıtına göre daha az olduğu görülmektedir. %40 dizel benzeri yakıt - %60 dizel yakıt karışımı her devirde motorinden yüksek HC emisyonu üretirken %20 dizel benzeri yakıt - %80 dizel yakıt karışımı tüm devirlerdeki ortalamalar alındığında motorinden daha düşük HC emisyonun üretmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Egzoz Emisyonları, Motor Performansı,  $NO_x$ , CO, HC.

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.523585

## Giriş

Enerji, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan, maddenin içinde yatan potansiyel veya kinetiksel gücün ışık ve ısı gibi farklı biçimler halinde ortaya çıkmasıdır. Enerji kaynaklarının üç temel grubu bulunmaktadır. İlki yenilenebilir enerji kaynakları, ikincisi ise nükleer enerji kaynaklarıdır. Bunlardan sonuncusu ve en popüler olanı fosil yakıtlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kaynağı güneştir. Yenilenebilir enerji kaynakları rüzgâr, su, güneş enerjisi gibi kendisini yenileyebilen ve tükenmeyen olarak adlandırılan kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları sera gazı salınımı yapmayan veya yaptığı sera gazı salınımı diğer enerji kaynaklarına göre çok az olan enerji kaynaklarıdır. Sera gazı salınımı açısından avantajlı olan bu enerji kaynaklarının dezavantajı her yerde ve her zaman üretilmiyor olmasıdır. Nükleer enerji kaynaklarından en fazla kullanılanı toryum ve uranyumdur. Nükleer enerji tesisi kurulum maliyetinin çok yüksek olması ve istenmeyen bir durumun oluşmasıyla çevresel felakete dönüşmesi yüzünden yaygın kullanılabilen bir enerji kaynağı değildir. Fosil enerji kaynakları ise; basınç, nem, sıcaklık ve zaman (milyonlarca yıl) etkisiyle canlı kalıntılarının karbon kökenli yakıtlara dönüşmesiyle oluşan enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtlı kaynakların büyük bir kısmı petrol ve türevi kaynaklar olup, artan dünya nüfusu ve sanayi ihtiyaçları göz önünde bulundurulunca bu kaynakların sınırsız olmadığı ve zamanla tükeneceği aşikârdır. Ayrıca fosil yakıtların çevreye olan zararlı etkileri bilim insanlarını ve çevre bilimcileri farklı enerji kaynağı arayışına itmiştir. Çünkü bu yakıtların atıkları küresel iklim değişikliğini tetiklemekte ve solunan havanın kalitesini bozmaktadır. Araştırmacılar bu nedenlerden ötürü doğamızı kirletmeyen, ekonomik ve kullanımı kolay alternatif yakıt geliştirilmesi için veya doğaya atık olarak bırakılacak maddelerden enerji üretebilmek için çalışmalar yapmaktadır. Petrol kökenli yakıtların ve çevrenin hızla tükenmesi sorununa çözüm için alternatif yakıtlar konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Alternatif çözüm yöntemlerinden biri de atık maddelerin işe yarar enerjiye dönüştürülmesidir.

Behera ve ark. (2013) tarafından kullanılmış trafo yağı (KTY) ve dizel yakıt karışımlarından altı farklı karışım yapılmıştır. KTY konsantrasyonu hacim bazında %10'undan düzenli aralıklarla % 60'a kadar farklı karışımlar yapılarak sonuçlar analiz edilip dizel kullanımı ile karşılaştırılmış. KTY- dizel karışımlarının, dizel ile karşılaştırıldığında, dumanın azaltılmasında belirgin bir iyileşme ile ısı veriminde artış gözlenmiştir. KTY- dizel karışımları için NO, HC ve CO emisyonları, tam yükte dizelinkinden daha yüksek çıkmıştır. Tam yükte KTY40'ın duman değerinin dizelden yaklaşık % 5.9 daha düşük çıktığı tespit edilmiştir.

Arpa ve ark. (2013), pirolitik damıtma yöntemiyle dizel benzeri yakıt üretmişlerdir. Ürettikleri bu dizel benzeri yakıtın içindeki kükürt miktarını azaltmak için 50 °C 'de oksidatif kükürt giderme (OKG) yöntemi uygulanmışlardır. Bu çalışma dizel yakıtı göre düşük kükürlü dizel benzeri yakıt için tork, ortalama efektif basınç ve fren termal verimliliğinin biraz daha yüksek olduğu buna karşılık özgül yakıt tüketiminin, egzoz sıcaklığının ve SO<sub>2</sub>, CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının daha düşük olduğunu göstermiştir.

Yadav ve Saravanan (2015), atık trafo yağının geri dönüşümü ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma sonucunda atık trafo yağının dizel motorda yakıt olarak kullanılabilir olduğunu ifade edilmiştir.

Wang ve Ni (2017), atık yağlama yağından elde edilen dizel benzeri yakıt ile çalışmıştır. Özgül yakıt tüketimi (be) incelenip DBY' nin dizel ile karşılaştırıldığında hafif ve orta yükler altında 3000 dev/dak. da yaklaşık %3 oranında azaltılmıştır. DBY orta ve ağır yüklerde biraz daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu ve biraz daha fazla duman emisyonuna neden olduğu, özellikle orta yüklerde dizel yakıttan daha yüksek HC ve CO emisyonları gözlemlenmiştir.

## Materyal ve Metot

Bu çalışmada Arpa ve arkadaşları tarafından atık motor yağından (DBY) pirolitik damıtma yöntemiyle elde edilen yakıt, hacimce %20, %40 ve %60 oranında motorin ile karıştırılarak motorda test edilmiştir. Atık yağdan elde edilen yakıtın özellikleri Tablo1.'de verilmiştir.

**Tablo 1.**Dizel yakıt ve çalışmada elde edilen dizel benzeri yakıtın özellikleri (Arpa ve ark. 2010).

Özellikler	Dizel yakıt	
	TS3082-EN 590	DBY
Yoğunluk 15°C'de (kg/m <sup>3</sup> )	820 - 845	818
Vizkozite 40°C'de (mm <sup>2</sup> /s)	2 – 4.5	3.49
Parlama Noktası (°C)	> 55	57
Sülfür (ppm)	50	3500
Su (mg/kg)	< 200	130
Alt Isıl Değer (kJ/kg)	42.700	42.500
Maksimum Hacim, 250°C'de (% v/v)	65	20

Üretilen DBY-dizel yakıt karışımı numunelerinin Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan tek silindri, dört zamanlı, doğal emişli ve doğrudan enjeksiyonlu dizel motorda (Antor 4 LD 820 dizel motor) yakıt olarak kullanılıp test edilmiştir. Motor yükünü ayarlamak için elektronik kontrollü hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Deney sırasında motordan ölçülen tork, güç ve devir sayısını gösteren elektronik kontrol ünitesi şekil 1 de gösterilmiştir. Elektronik kontrol ünitesi hızı, yakıt ölçümünü ve fren gücünü sırasıyla  $\pm 5$  devir/dakika,  $\pm 0.5045$ ,  $\pm 0.5055$  hassasiyetle okumaktadır. Ancak yakıt, depodan kontrollü bir akış yolu hazırlanan bir düzeneğin içinde yer alan 50 ve 100 mililitrelik haznelere sahip şiber vanalı bir cam kontrol ünitesinden geçirilerek ölçüm yapılmıştır. Test süreleri kronometre tutularak üç deneyin ortalamasının alınması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Böylece ölçümdeki hata oranı düşürülmek istenmiştir.



*Şekil 1. Dizel test motoru ve dinamometresi kontrol paneli.*

Motor performans ve emisyon testlerini gerçekleştirmek için motor başlangıçta 3000 dev/dak'da yüksüz olarak sürekli rejim şartlarına gelinceye kadar çalıştırılıp daha sonra hidrolik dinamometre ile motor devri sırasıyla 2500, 2000, 1500 ve 1000 dev/dak' ya düşürülerek ölçümler alınmıştır. Şekil 2.' de dizel test motoru ve dinamometresinin görüntüsü yer almaktadır. Şekil 3. ise test motoru, hidrolik dinamometre ve egzoz analiz cihazını şematik olarak göstermektedir.



*Şekil 2. Dizel test motoru ve dinamometresi.*

Test motorundan çıkan emisyonları (O<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub>, NO ve egzoz gazı sıcaklığını) ölçmek için portatif emisyon cihazı Testo 350 gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Egzoz gazı ölçüm cihazı %0.8 hassasiyetle oksijen, %10 hassasiyetle karbon monoksit, kükürt dioksit ve azot oksit emisyonlarını ve ayrıca %5 hassasiyetle hidrokarbon ve azot dioksit emisyonlarını ölçmektedir. Motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra cihazın ölçme probu motorun egzoz borusuna yerleştirilmiştir. Motorun ayrıntılı teknik özellikleri Tablo 2' de, egzoz

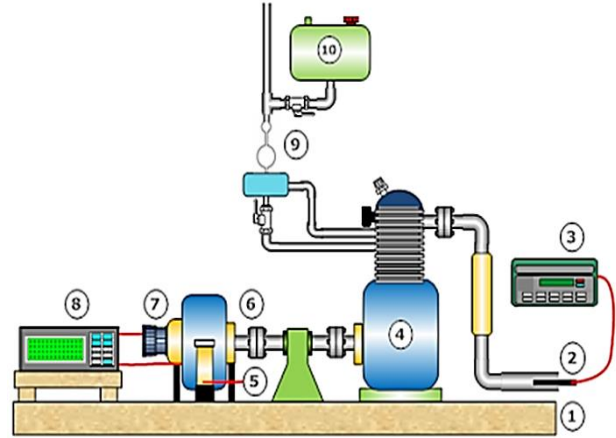
gazı ölçüm cihazının teknik özellikleri ve ölçüm hassasiyeti ise Tablo 3' te verilmiştir

**Tablo 2.** Test motorunun detaylı teknik özellikleri.

<b>Motor Markası</b>	Antor
<b>Motor Modeli</b>	4 LD 820
<b>Motor Türü</b>	Tek silindirli, Dört zamanlı
<b>Yakıt Türü</b>	Dizel
<b>Silindir Çapı</b>	102 mm
<b>Strok</b>	100 mm
<b>Hacim</b>	817 cm <sup>3</sup>
<b>Sıkıştırma Oranı</b>	17:1
<b>Soğutma Tipi</b>	Hava soğutmalı
<b>Maksimum Devir</b>	3000 dev/dak
<b>Maksimum Güç</b>	12.7 kW 3000 dev/dak
<b>Maksimum Tork</b>	50 Nm 1600 dev/dak
<b>Püskürtme Basıncı</b>	20 MPa
<b>Özgül Yakıt Tüketimi</b>	255 g/kWh 2800 dev/dak

**Tablo 3.** Egzoz gazı ölçüm cihazının detaylı teknik özellikleri (testo 350)

ÖlçülenParametre	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
O <sub>2</sub>	0.. +25 % hacim	±0,8%
CO	0-10000 ppm	±10 %
SO <sub>2</sub>	0..+5000 ppm	±10 %
HC	100-40000 ppm	± 5 %
NO	0-4000 ppm	±10 %
NO <sub>x</sub>	0-500 ppm	± 5 %
<b>Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)</b>	-200 ... +1370°C	±1°C



- 1) motor şasisi,
- 2) egzoz gazı analiz probu,
- 3) egzoz gazı analizörü,
- 4) tek silindirli dizel motor,
- 5) yük hücresi,
- 6) dinamometre,
- 7) hız ölçer,
- 8) kontrol paneli,
- 9) yakıt haznesi,
- 10) Yakıt deposu.

*Şekil 3. Motor test teçhizatının ve egzoz analiz cihazının şematik olarak gösterilmesi.*



*Şekil 4. Egzoz gazı ölçüm cihazı.*

### Motor Performans Hesaplamaları

Bir yakıtın motorun performansı ve emisyonu üzerindeki etkilerini gözlemlemek için performans ve egzoz emisyon testleri yapılır. Bu test sonuçları yakıtın bir motorda verimli kullanılıp kullanılmadığı konusunda fikir vermektedir. Bu nedenle, bir motorun performans parametrelerini belirlemek gerekir. Tork, güç ve özgül yakıt tüketimi gibi çeşitli performans parametreleri incelenmektedir. Güç torkun bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. (Heywood 1988).

$$T = F \cdot d \quad (1)$$

Burada;

T: tork (Nm),

F: uygulanan kuvvet (N),

d:rotorun merkezinden metre (m) cinsinden mesafeyi göstermektedir.

Motor tarafından sağlanan ve dinamometre tarafından emilen güç, aşağıdaki denklemde verilen tork ve açısal motor hızının ürünüdür (Heywood 1988).

$$P_b = \frac{2\pi \cdot \omega \cdot T}{1000} \quad (2)$$

Bu formülde;

P<sub>b</sub>: güç (kW) ,

ω: açısal hızı (dev/sn) cinsinden ifade etmektedir.

İçten yanmalı motorlar için önemli parametrelerden biri hacimsel yakıt tüketiminin bir ölçüsü olan özgül yakıt tüketimidir (Agarwal 2009).

$$be = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \cdot 10^3 \quad (3)$$

be: Özgül yakıt tüketimi (g/kW.h),

P<sub>b</sub>: güç (kW),

$\dot{m}_f$  : Yakıt Kütle Debisi (kg/h).

## Bulgular ve Tartışma

### Motor Performans Testleri

Standart dizel yakıt için ölçümler aldıktan sonra farklı hacim oranlarında üç numune yakıt hazırlanarak test edilmiştir. Bu yakıtlar ve hacimsel oranları tablo 4.' te verilmiştir.

Dizel ile kıyaslandığında tüm yakıt karışım örneklerinde motor devri arttıkça tork düşmektedir. Motor devir sayısı ile güç arasındaki ilişkiye bakıldığında ise, dizel yakıt dahil tüm yakıtlarda 2000 dev/dak için en yüksek gücün elde edildiği görülmektedir.

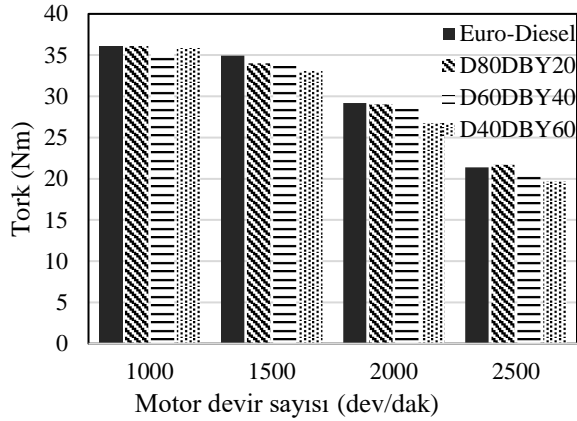
**Tablo 4.** Dizel ve dizel benzeri yakıtların hacimsel oranları.

KOD	Dizel yakıt Hacimsel yüzdesi	Dizel Benzeri Yakıt Hacimsel yüzdesi
D80DBY20	80	20
D60DBY40	60	40
D40DBY60	40	60

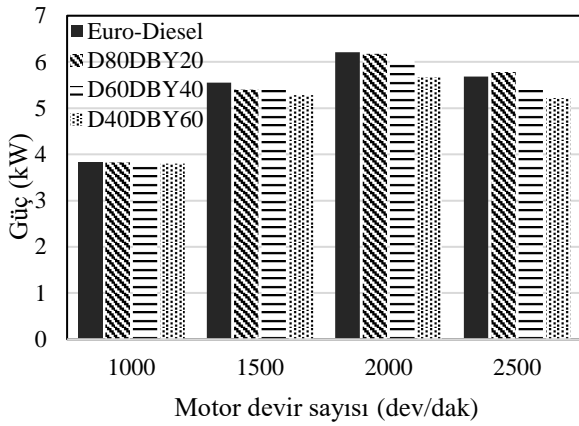
Özgül yakıt tüketimi ise genel olarak azalırken atık yağlama yağı oranı (DBY) hacimce %40 olan D60DBY40 karışımında özgül yakıt tüketiminde ufak miktarda artış gözlemlenmiştir. Tork, güç ve özgül yakıt tüketimi grafikleri şekil 5, şekil 6 ve şekil 7' de yer almaktadır. Değişimleri madde madde açıklamak gerekirse;

- Hacimce %20'si DBY olan D80DBY20 yakıt karışımının torkun da dizel yakıtı göre ortalama %0.61' lik bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışım için güçte %0.44'lük bir düşüş ve özgül yakıt tüketiminde %2.53' lük bir düşüş olmuştur.
- Hacimce %40'ı DBY olan D60DBY40 yakıt karışımının torkunda dizel yakıtı göre ortalama %2.30'luk bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışım için güçte %2.61'lik bir düşüş olurken özgül yakıt tüketiminde %2.92'lik bir artış olmuştur.
- Hacimce %60'ı DBY olan D40DBY60 yakıt karışımının torkunda dizel yakıtı göre ortalama %5.13'lik bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışım için güçte %6.09'luk bir düşüş ve özgül yakıt tüketiminde %0.11'lük bir düşüş olmuştur.

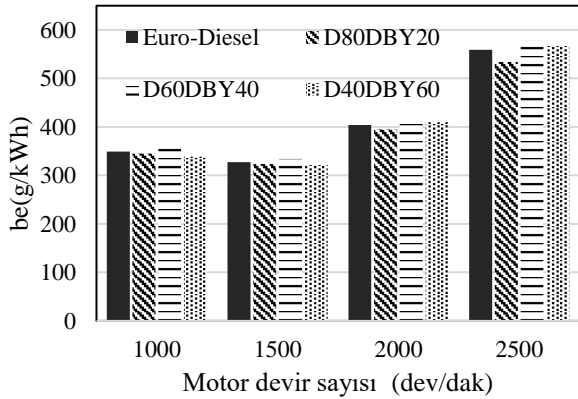
Arpa ve ark. (2010) tarafından saf DBY ile dizel yakıt karşılaştırılmışlardır. Yaptıkları çalışmada DBY' nin ortalama efektif basıncı, torku ve motor ısıl veriminin dizelinkinden daha büyük çıkmıştır. Özgül yakıt tüketimi dizel ile kıyaslandığında tüm devirlerde biraz daha düşük çıkmıştır. Böyle bir sonuç motorlarda istenen bir durum olması sebebiyle DBY' nin yakıt olarak kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Tork, motor ısıl verimi ve ortalama efektif basıncın 2000 dev/ dak 'da en yüksek çıkmıştır.



Şekil 5. Torku'n motor devri ile değişimi.



Şekil 6. Motor gücünün motor devri ile değişimi.



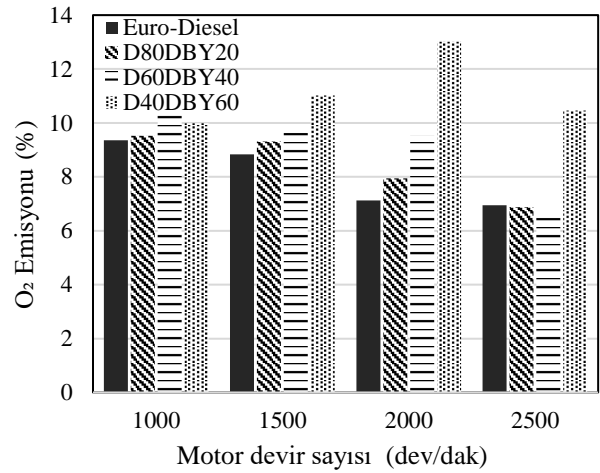
Şekil 7. Özgül yakıt tüketiminin motor devri ile değişimi.

### Egzoz Emisyon Testleri

Oksijen(O<sub>2</sub>) emisyonu ölçümü egzozdan dışarıya atılan toplam havanın hacimsel yüzdesi olarak Testo 350 egzoz gazı ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Egzoz gazıyla dışarı atılan O<sub>2</sub>'nin hızlara göre miktarı Şekil 8.'deki grafikte görülmektedir. Standart dizel de olduğu gibi

D80DBY20 ve D60DBY40 yakıt karışımlarının egzozdan attığı oksijen miktarının motor hızı artışıyla ters olduğu tespit edilmiştir.

D40DBY60 yakıt karışımında egzozdan atılan oksijen miktarının motor hızı artışıyla beraber neredeyse orantılı olarak artmaktadır. Yani motor hızı artırıldıkça egzoz ile atılan oksijen miktarı da arttığı ölçülmüştür. Buna sebep olarak yanma veriminin iyi gerçekleşmediği gösterilebilir.



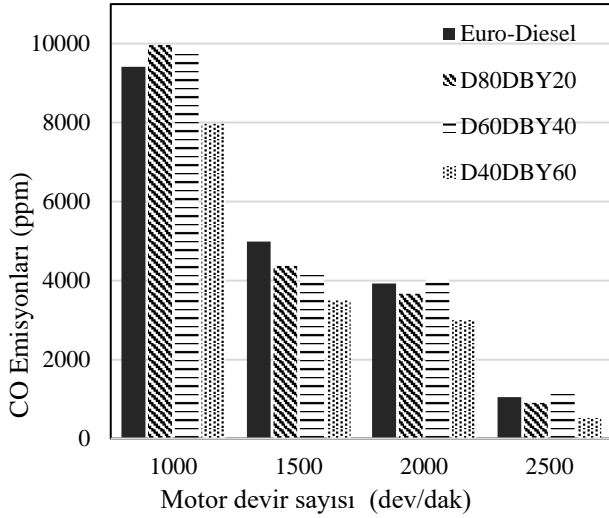
Şekil 8. Oksijen emisyonlarının motor devri ile değişimi.

Motor hızının artırılmasına bağlı olarak CO emisyonunun tüm yakıt karışımları için azalmaktadır. D80DBY20 karışımı 1000 dev/dak hariç tüm devirlerde dizele göre daha az CO emisyonu olduğu tespit edilmiştir. D60DBY40 karışımı 1000 dev/dak ve 2000 dev/dak hızlarında motorine göre yüksek emisyon değerlerine sahiptir.

Motor hızının artırılmasına bağlı olarak CO emisyonunun tüm yakıt karışımları için azalmaktadır. D80DBY20 karışımı 1000 dev/dak hariç tüm devirlerde daha az CO emisyonu olduğu tespit edilmiştir. D60DBY40 karışımı 1000 dev/dak ve 2000 dev/dak hızlarında motorine göre yüksek emisyon değerlerine sahiptir. Her iki devirde de yaklaşık 400 ppm gibi bir miktarda dizel yakıtına göre daha fazla karbon monoksit miktarına sahip egzoz gazı tespit edilmiştir. Ancak bu iki yakıt



örneğinde de emisyonlar kabul edilebilir düzeydedir. Yüksek sıcaklık, eksik hava ve eksik yanma düşük devirlerde CO miktarını artırmıştır. Çünkü yükleme ile devir düşmüştür. Devir yükseldikçe hava hareketleri artmış ve artan hava hareketleri yanmayı iyileştirmiştir.

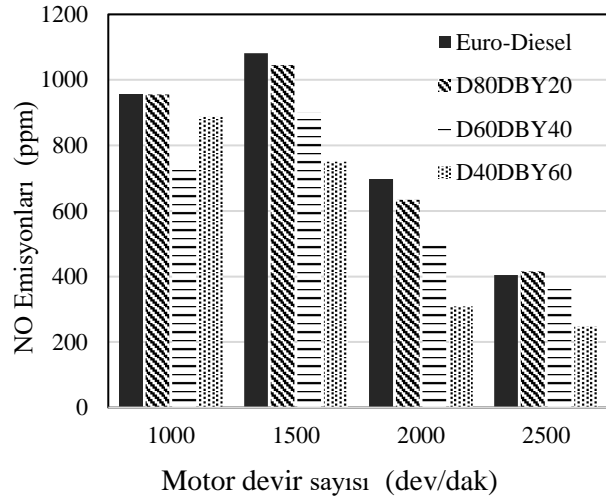


Şekil 9. Karbon monoksit emisyonlarının motor devri ile değişimi.

Test edilen dizel yakıt ve diğer yakıt numunelerinde genel olarak motor devrinin artırılmasıyla CO<sub>2</sub> emisyonunun arttığı verilerden anlaşılmaktadır. Şekil 9’da görüldüğü üzere 2500 dev/dak hariç diğer hızların hepsinde yakıt karışımlarının motorinden daha az CO<sub>2</sub> emisyonuna sahip olduğu görülmektedir. Devir yükseldikçe artan hava hareketleri nedeniyle yanma daha iyi olmaktadır. Ayrıca yüke bağlı olarak zengin bir karışım oluştuğundan düşük devirlerde yanma eksik kalmıştır. Bu durum miktarını CO artırırken ve CO<sub>2</sub> ‘nin azalmasına sebep olmuştur. Eksik hava nedeniyle zengin karışım oluşunca eksik yanmaya sebebiyet vermektedir. Ayrıca düşük hava hareketleri yanmayı düşük devirlerde kötüleştirir.

Azot oksit (NO) emisyonlarından elde edilen verilerle oluşturulan grafik Şekil 10.’da verilmiştir. 2500 motor devrindeki D80DBY20 yakıtının emisyonu hariç tüm NO

emisyonlarının dizel yakıtı göre daha az olduğu görülmektedir.

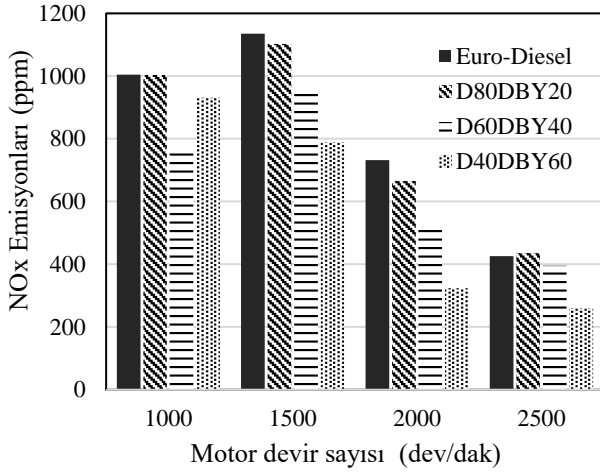


Şekil 10. NO emisyonlarının motor devri ile değişimi.

Düşük devirlerde fazla yük ve eksik havadan dolayı kötü yanma gerçekleştiği söylenebilir. Yüke bağlı sıcaklık artışı NO miktarını 1000 dev/dak için artırmıştır. 1500 dev/dak’ da ise yanma nispeten daha iyi olduğundan ve yüke bağlı sıcaklık artışı olduğundan NO miktarını maksimum seviyeye yükselmiştir. 2500 devirde artan hava hareketleri ve düşük yük sıcaklığı düşürmüştü ve NO emisyonu azalmıştır. NO<sub>x</sub> için de aynı yorumlar yapılabilir. NO<sub>x</sub> emisyonlarından elde edilen verilerle çizilen grafik Şekil 11.’de yer almaktadır. Veriler incelendiğinde hemen hemen tüm devirlerde DBY yakıt karışımlarının motorine göre daha az NO<sub>x</sub> emisyonuna sahip olduğu görülmektedir.

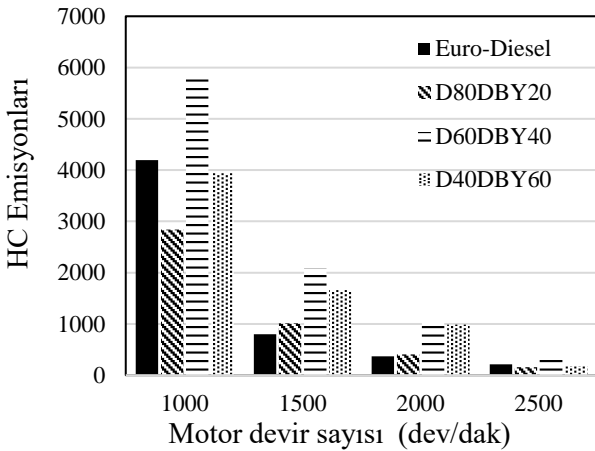
Arpa ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada DBY’ nin NO emisyonları dizele göre yüksek çıkmıştır. Motor devrinin 2000 dev/dak olduğu anda bu değerler en yükseğe çıktığı ortaya konulmuştur.

İyi bir yanmanın gerçekleştiği silindirden dışarıya atılan karbon sayısında düşüş olması beklenirken kötü yanma sonucunda da egzozdaki karbon miktarının artması beklenir.



Şekil 11. NOx emisyonlarının motor devri ile değişimi.

Motorin ile kıyaslanan yakıt karışımlarının grafiği şekil 12’ de verilmiştir. Verilerden anlaşıldığı üzere D60DBY40 her devirde dizelden yüksek HC emisyonun üretirken D80DBY20 tüm devirlerdeki ortalamalar alındığında dizelden daha düşük HC emisyonun üretmektedir.

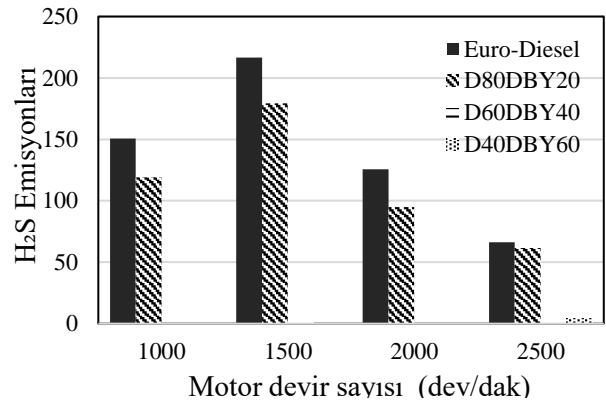


Şekil 12. HC emisyonlarının motor devriyle değişimi.

HC emisyonlarının düşük devirlerde yüksek olmasının sebebi zengin karışım ve eksik yanma olarak gösterilebilir. 1500 ve 2000 devirlerdeki motor hızında D60DBY40 ve D40DBY60 karışımlarının yüksek HC emisyonu üretmesinin nedeni sıcaklığın düşük olmasına bağlı sönmeye bölgesi kalınlığının artması gösterilebilir.

Emisyon testleri yapıp hidrojen sülfür ile ilgili

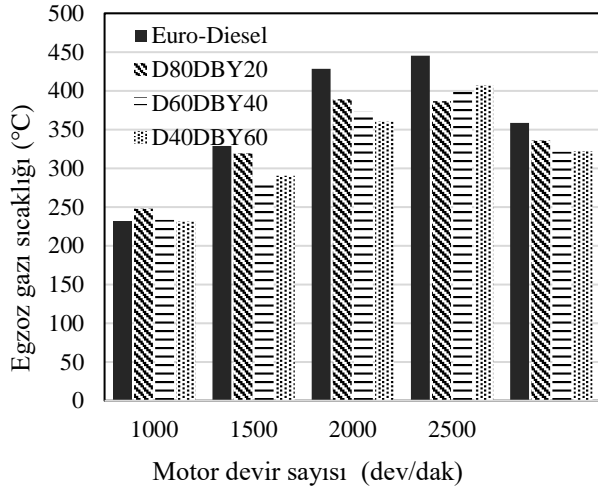
veriler şekil 13.’deki grafikte verilmiştir. Kükürt miktarı Euro VI standardı ile motorindeki kükürt miktarı 10 ppm’ e düşürülmüştür. Bu miktar çok az olsa da yanma sonucu bir miktar H<sub>2</sub>S oluşabileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Şekil 13’ te görüleceği üzere saf motorin ve hacimce dizel oranı yüksek olan D80DBY20 karışımında diğer karışımlara göre yüksek ancak dizel yakıtına göre düşük çıkmaktadır. D60DBY40 ve D40DBY60 karışımlarında yok denecek kadar az miktarda H<sub>2</sub>S emisyonu bulunmaktadır.



Şekil 13. Hidrojen sülfür emisyonlarının motor devriyle değişimi.

İçten yanmalı dizel motorunun içinde yüksek sıcaklıkta bir yanmanın gerçekleşmesiyle bağlantılı olarak egzoz gazı sıcaklığı da artacaktır. Yanma sonucu elde edilen enerjinin egzozdan ısı olarak atılması istenmeyen bir durumdur. Çünkü egzoz sıcaklığı yüksek olduğunda motor ısıl veriminin düştüğü anlamına gelmektedir. Motorin ve test edilen yakıt karışımları için motor hızlarına göre elde edilen egzoz gazı sıcaklıkları değişimi Şekil 14.’de verilmiştir.

Egzoz gazı sıcaklığına bakıldığında tüm yakıtlar için hız ile doğru bir orantı olduğu görülmektedir. Dizel ile kıyaslandığında karışımların daha düşük egzoz gazı sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir. Egzoz gazı sıcaklığının düşük olması yakılan yakıttan daha fazla iş elde edildiğini göstermektedir. Egzoz gazı sıcaklık ölçümü ve diğer tüm ölçümler motorun çıkışından ölçülmüştür.



Şekil 14. Egzoz gazı sıcaklığının motor devri ile değişimi.

## Sonuç

Dünya genelinde her yıl milyonlarca ton madeni yağ üretilmekte ve kullanıldıktan sonra büyük bir bölümü atık haline dönüşmektedir. Bunların çoğu petrol kaynaklı yağlardır ve yağlama yağlarının bu üretim içindeki payı yaklaşık %97'sini kapsamaktadır (Bhaskar ve ark. 2004). Çevreye boşaltılan bir litre atık motor yağı, 800.000 litre suyu kullanılamaz ve 5.000.000 ton temiz suyu içilemez hale getirmektedir (Batmaz 2007). Bunun yanında gün geçtikçe artan enerji talebi ve tüketimi görmezden gelinemez. Bu artışın özellikle Asya bölgesindeki gelişmekte olan ülkelerdeki büyük enerji tüketimi nedeniyle 2030'da %1,5'e kadar çıkacağı tahmin edilmektedir (Mohsin ve ark. 2014). Enerji elde edebilmek için farklı kaynaklar keşfetmezsek veya mevcut atıklarımızı yakıtlara dönüştürebilecek teknolojiler geliştirmesek artan enerji talebi karşılanamayacak boyutlara geleceği görülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmada;

- Atık yağlama yağından pirolitik distilasyon ile elde edilen dizel benzeri yakıt ile dizel %20, %40, %60 DBY karıştırılarak elde edilen numunelerin özgül yakıt tüketimleri, genel olarak azalırken DBY oranı hacimce %40 olan D80DBY20 karışımının özgül yakıt tüketiminde bir artış gözlemlenmiştir.

- D80DBY20 ve D60DBY40 yakıt karışımlarının egzozdan attığı oksijen miktarının motor hızı artışıyla ters olduğu tespit edilmiştir. Verimli bir yanmanın gerçekleştiği söylenebilmektedir. Ancak D40DBY60 yakıt karışımında bu durumun farklı olduğu ve motor hızı artırıldıkça egzoz ile atılan oksijen miktarının da arttığı görülmüştür. Buna sebep olarak yanma veriminin iyi gerçekleşmediği gösterilebilir. Başka çalışmalarda yanma tepkimesinin daha iyi gerçekleşmesi için yakıt karışımına başka maddelerin ilave edilmesi gerektiği düşünülmektedir.
- Motor hızının artırılmasına bağlı olarak CO emisyonu tüm yakıt karışımları için azalmaktadır. D60DBY40 karışımı 1000 dev/dak ve 2000 dev/dak hızlarında motorine göre yüksek emisyon değerlerine sahiptir. Ancak bu standartlara göre kabul edilebilir düzeydedir.
- Motor devrinin artırılmasıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarının da dizel yakıt ve diğer yakıt örenleri için arttığı verilerden anlaşılmaktadır. Ancak dizel yakıt ile kıyaslandığında CO<sub>2</sub> emisyonu yakıt örnekleri için daha düşüktür.
- Test sonuçları yapılan çalışmanın amacına uygun sonuçlandığını göstermektedir. Çünkü 2500 motor devrindeki D80DBY20 yakıtının emisyonu hariç tüm NO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının dizel yakıtta göre daha az olduğu görülmektedir.
- Yakıtın tamamı yanma tepkimesine girmediği için egzozdan tahliye olan O<sub>2</sub> ve HC miktarı dizel yakıtta göre yüksek çıktığı düşünülmektedir.
- Motorda yanmayı iyileştirecek yeni katkı maddeleri eklenerek HC emisyonlarının iyileştirilebileceği ön görülmektedir.
- Motorin ile kıyaslandığında yeni yakıt karışım örneklerinin daha düşük egzoz gazı sıcaklığına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Dünya genelinde atık hale gelen yağların miktarı göz önüne alındığında, bu yağların uygun yöntemlerle yakıtla dönüştürülmesiyle hem ekonomik bir katkı sağlanacağı, hem de çevre kirliliğinin önüne geçileceği

görülmektedir. Bu ve bundan önceki çalışmalar atıl durumdaki yağların, piroliz işlemi ile yakıtı dönüştürülebileceğini göstermektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi MÜHENDİSLİK.16.002 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- Agarwal, A.K., & Rajamanoharan, K. (2009). Experimental investigations of performance and emissions of Karanja oil and its blends in a single cylinder agricultural diesel engine. *Applied Energy*, 86(1), 106-112.
- Arpa, O. (2009). "Performance and Exhaust Emission Tests of Fuels Obtained from Waste Lubrication Oil by Pyrolytic Distillation", (Doctoral Tezi, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Arpa, O., Yumrutas, R., & Demirbas, A. (2010). Production of diesel-like fuel from waste engine oil by pyrolytic distillation. *Applied Energy*, 87(1), 122-127.
- Arpa, O., Yumrutaş, R., & Kaşka, Ö. (2013). Desulfurization of diesel-like fuel produced from waste lubrication oil and its utilization on engine performance and exhaust emission. *Applied Thermal Engineering*, 58(1-2), 374-381.
- Batmaz, İ. (2007). Buji ateşlemeli motorlarda yakıtı hidrojen ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1).
- Bhaskar, T., Uddin, M. A., Muto, A., Sakata, Y., Omura, Y., Kimura, K., & Kawakami, Y. (2004). Recycling of waste lubricant oil into chemical feed stock or fuel oil over supported iron oxide catalysts. *Fuel*, 83(1), 9-15.
- Behera, P., & Murugan, S. (2013). Combustion, performance and emission parameters of used transformer oil and its diesel blends in a DI diesel engine. *Fuel*, 104, 147-154.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. - McGraw-hill New York.
- Mohsin, R., Majid, Z. A., Shihnan, A. H., Nasri, N. S., & Sharer, Z. (2014). Effect of biodiesel blends on engine performance and exhaust emission for diesel dual fuel engine. *Energy Conversion and Management*, 88, 821-828.

- Maceiras, R., Alfonsín, V., & Morales, F. J. (2017). Recycling of waste engine oil for diesel production. *Waste Management*, 60, 351-356.
- Mahari, W. A. W., Zainuddin, N. F., Chong, C. T., Lee, C. L., Lam, W. H., Poh, S. C., & Lam, S. S. (2017). Conversion of waste shipping oil into diesel-like oil via microwave-assisted pyrolysis. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(6), 5836-5842.
- Mastral, A. M., Callen, M. S., Garcia, T., & Navarro, M. V. (2000). Improvement of liquids from coal-tire co-thermolysis characterization of the obtained oils. *Fuel Processing Technology*, 64(1-3), 135-140.
- Oğuz, H. (2004). Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkanlarının incelenmesi (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Oğuz, H., Oğüt, H., Gökdoğan, O. (2012). Türkiye tarım havzaları üretim ve destekleme modelinin biyodizel sektörüne etkisinin incelenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(2 Sp: A), 77-84.
- Öztürk, M. (2006). Kanalizasyonlarda Hidrojen Sülfür Gazı Oluşumu Sağlık Üzerine Etkileri.
- Salem, S., Salem, A., & Babaei, A. A. (2015). Preparation and characterization of nano porous bentonite for regeneration of semi-treated waste engine oil: Applied aspects for enhanced recovery. *Chemical Engineering Journal*, 260, 368-376.
- Singhabhandhu, A., & Tezuka, T. (2010). The waste-to-energy frame work for integrated multi-waste utilization: Waste cooking oil, waste lubricating oil, and waste plastics. *Energy*, 35(6), 2544-2551.
- Sinha, S., Agarwal, A. K., & Garg, S. (2008). Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization. *Energy Conversion and Management*, 49(5), 1248-1257.
- Wang, X., & Ni, P. (2017). Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel-like fuel from waste lubrication oil. *Energy Conversion and Management*, 133, 275-283.
- Yadav, S. P. R., & Saravanan, C. G. (2015). Engine characterization study of hydrocarbon fuel derived through recycling of waste transformer oil. *Journal of the Energy Institute*, 88(4), 386-397.

## Investigation of Engine Performance and Exhaust Emissions of Fuel-Diesel Mixtures Obtained from Waste Lubricating Oil

### Extended abstract

Most of the fossil fuel sources are petroleum and derivative sources, and it is obvious that these resources are not unlimited and will be depleted over time due to the increasing world population and industrial needs. In addition, the harmful effects of fossil fuels on the environment have led scientists and environmental scientists to seek different sources of energy. Because the waste of these fuels triggers global climate change and disrupts the quality of the air. For these reasons, the researchers are working to develop an alternative fuel that is not polluting our nature, economical and easy to use, or to generate energy from substances to be left as waste to nature. In order to solve the problem of oil-fueled fuels and the rapid depletion of the environment, intensive studies are being carried out on alternative fuels.

Behera et al. (2013) used by six different mixtures of transformer oil (WTO) and diesel fuel mixtures. WTO concentrations of 10% by volume at regular intervals up to 60% of different mixtures were made by analyzing the results were compared with the use of diesel. Compared to diesel, WTO-diesel mixtures have been shown to increase thermal efficiency with a significant improvement in smoke reduction. NO, HC and CO emissions for WTO-diesel mixtures were higher than diesel at full load. At full load, the smoke value of the WTO 40 was found to be about 5.9% lower than the diesel.

Yadav and Saravanan (2015) conducted a study on the recycling of waste transformer oil. As a result of this study, they showed that waste transformer oil can be used as fuel in diesel engine.

Wang and Ni (2017) have worked with similar fuel derived from waste lubricating oil. Specific fuel consumption (be) was reduced by approximately 3% at 3000 rpm under light and medium loads when compared to DLF's diesel. It has been observed that the DLF has slightly

higher NO<sub>x</sub> emissions in medium and heavy loads, resulting in slightly more smoke emissions, and higher HC and CO emissions than those of diesel fuel, especially at medium loads.

In this study, the fuel obtained by Arpa et al. the waste motor oil (DLF) by pyrolytic distillation was tested in the engine by mixing with 20%, 40% and 60% by volume of diesel.

Compared to diesel, all the fuel mixture samples reduce torque as the engine speed increases. When the relationship between engine speed and power is examined, it is seen that the highest power is obtained at 2000 rpm for all fuels including diesel fuel and the power is increased with increasing speed in general.

Specific fuel consumption decreased in general, while the D60DBY40 mixture with 40% by volume of waste lubricating oil (DLF) showed a slight increase in specific fuel consumption.

The D80DBY20 fuel mixture, which has 20% DLF volume, has an average of 0.61% reduction in diesel fuel compared to diesel fuel. For the same mix, there was a 0.44% decrease in power and a 2.53% decrease in specific fuel consumption. The D60DBY40 fuel mixture, which has a 40% DLF volume, was found to have a decrease of 2.30% on average compared to diesel fuel. There was a 2.61% decrease in power for the same mixture and a 2.92% increase in specific fuel consumption.

The D40DBY60 fuel mix with 60% DLF has an average of 5.13% decrease in diesel fuel compared to diesel fuel. For the same mix, there was a 6.09% decrease in power and a 0.11% decrease in specific fuel consumption.

Considering the amount of oils that become waste worldwide, it is seen that by converting these oils to the fuel by appropriate methods, an economic contribution will be provided and environmental pollution will be prevented. Studies show that the oil in the idle state can be converted to fuel by pyrolysis process.

**Keywords:** Exhaust Emissions, Engine Performance, NO<sub>x</sub>, CO, HC.



## Farklı Alüminyum Alaşımların Difüzyon Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

**M. Selçuk KESKİN**

*Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*

[msehcuk.keskin@dicle.edu.tr](mailto:msehcuk.keskin@dicle.edu.tr) ORCID:0000-0001-6233-1807, Tel: (412) 241 10 00 (3607)

**Haluk KEJANLI**

*Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*

[kejanlih@dicle.edu.tr](mailto:kejanlih@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0002-4987-6316, Tel: (412) 241 10 00 (3594)

**Sedat BİNGÖL\***

*Dicle Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*

[sbingol@dicle.edu.tr](mailto:sbingol@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0002-4290-4193, Tel: (412) 241 10 00 (3598)

Geliş: 08.02.2019, Kabul Tarihi: 26.02.2019

### Öz

*Difüzyon kaynağı benzer veya farklı metaller arasında yüksek kaliteli bağ oluşumu için kullanılan önemli bir katı hal birleştirme işlemidir. Bu birleştirme yöntemi, geleneksel kaynaklarda oluşan kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini bozan beklenmedik fazların oluşumunu içermez. Difüzyon kaynağında karmaşık şekilli parçaları birleştirmek mümkündür. Bu çalışmada AA2024 ile AA7075 alüminyum alaşımlı levhaların farklı difüzyon sıcaklığındaki kaynak kabiliyetleri araştırılmıştır. Difüzyon kaynağı için, 55µm kalınlığında alüminyum folyo kullanılarak sabit basınçta (3 MPa) ve argon gazı atmosferi altında gerçekleştirildi. Difüzyon kaynağı, dört farklı sıcaklıkta 500, 520, 540 ve 560 °C 'de gerçekleştirildi. Difüzyon kaynağında bekleme süresi 60 dakika olarak belirlenmiştir. Kaynak bölgelerinde mikro sertlik değişimleri ve çekme mukavemetleri alındı. Çekme testi sonucunda, en yüksek çekme dayanımı 560°C sıcaklık ve 60 dakikalık bekleme süresinde difüzyon kaynağı yapılmış numune 9374,28 N olarak tespit edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Difüzyon Kaynağı, Alüminyum, Mekanik özellikler

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Difüzyon kaynak yoluyla benzer veya farklı metaller birleştirilir. Difüzyon kaynağı, basınç altında, farklı sıcaklıklarda ve farklı bekleme sürelerinde optimize edilmiş bir katı hal birleştirme işlemidir. Difüzyon kaynağı, karmaşık şekilli parçalar üretmek için umut verici bir tekniktir ve kaynak sırasında büyük çapta bir deformasyon oluşmamaktadır (Kundu S, Chatterjee S, 2006 ve Ghosh vd., 2003). Alüminyum alaşımları, üstün özelliklerinden dolayı otomobil ve havacılık endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (John Prakash S, Muthukumaran S, 2011). Bu çalışmada, farklı sıcaklık ve basınçlarda AA 6063 alüminyum alaşımının argon atmosferinde kontrollü difüzyon kaynağının özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada 6063 alüminyum alaşımının difüzyon kaynağı parametreleri optimize edilmiştir (Atabay ve Dericioğlu, 2016). Araçlarda ağırlığı azaltmak enerji tasarrufunu sağlamanın en kolay yolu, düşük yoğunluğa sahip farklı malzemelerin avantajını kullanmaktır. Gelişen teknoloji ile birlikte alüminyum ve alaşımlarının, düşük yoğunluk, düşük ergime sıcaklığı, elektrik ve ısı iletkenliği, çok yüksek aşınma ve korozyon direnci gibi iyi özelliklerinden dolayı havacılık, askeri ve otomotiv gibi önemli alanlarda

kullanımı gittikçe artmıştır (L. Laiping vd., 2005, Arık vd., 2005, Sidhom vd., 2005, Cicala vd., 2005, Taban vd., 2005). Difüzyon kaynak yönteminde atomların yayına bilmesi için yeterli yüksek sıcaklık, difüzyon işlem süresi ve birleştirilecek malzemeye göre uygun basınca ihtiyaç vardır (Erdoğan, 1998).

Bu çalışmada, AA2024 ile AA7075 alaşımları difüzyon kaynağı yapmak için, 55µm kalınlığında alüminyum folyo kullanılarak sabit basınçta (3 MPa) ve argon gazı atmosferi altında gerçekleştirildi. Difüzyon kaynağı, dört farklı sıcaklıkta 500, 520, 540 ve 560°C 'de gerçekleştirildi. Difüzyon kaynağında bekleme süresi 60 dakika olarak belirlenmiştir. Difüzyon kaynağı parametrelerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi analiz edildi.

## Materyal ve Metot

Bu çalışmada, difüzyon kaynağı tekniği ile farklı alüminyum alaşımların farklı difüzyon sıcaklığındaki kaynak kabiliyetleri araştırılmıştır. Yapılan difüzyon kaynağı çalışmasında (AA2024 ve AA7075) malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelerin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Difüzyon kaynağı için kullanılan AA2024 ve AA7075 alaşımların kimyasal bileşenleri

	Si	Cr	Fe	Mg	Mn	Zn	Ti	Cu	Al
AA2024	0.30	-	0.15	1.45	0.65	0.15	0.04	4.43	Kalan
AA7075	0.3	0.2	0.25	2.5	0.25	5.8	0.1	1.8	Kalan

Tablo 2. Alüminyum AA 1050 folyonun kimyasal bileşenleri

Alaşım	Si	Fe	Mg	Ti	Zn	Al
AA 1050	0,14	0,25	0,007	0,01	0,01	99,583

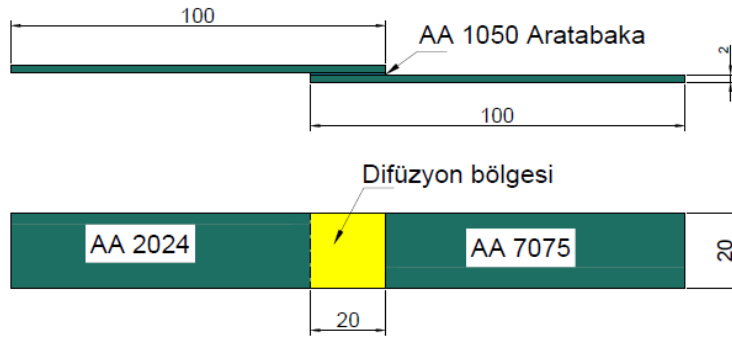
Kalınlıkları 2 mm olan farklı alüminyum alaşımları, hassas kesme makinesi kullanılarak 100 x 20 mm boyutunda numuneler kesildi (Şekil 1 ve Şekil 2). Difüzyon kaynağında kaynak işlemini hızlandırmak ve kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini geliştirmek için

birleşme bölgesinde 55 µm kalınlığında alüminyum folyo (AA 1050) kullanılmıştır.

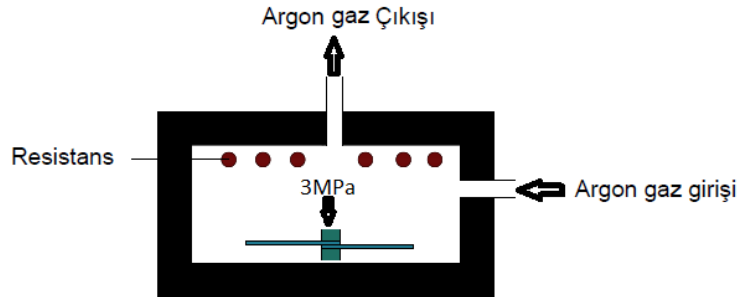
Kullanılan folyonun kimyasal özelliği Tablo 2. de verilmiştir. Ayrıca; difüzyon kaynak numunelerin mukavemetlerini belirlemek için çekme testi ve mikrosertlik testleri yapılarak mekanik değerler karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Difüzyon kaynağı için hazırlanmış çekme deney numunesi



Şekil 2. Difüzyon kaynağı için hazırlanmış çekme deney numunesi



Şekil 3. Difüzyon kaynağında kullanılan atmosfer kontrollü fırının şematik gösterimi

Tablo 3. Difüzyon kaynağında kullanılan deney parametreleri.

Deney No	Difüzyon sıcaklığı (°C)	Basınç (MPa)	Zaman(Dakika)
1	500	3	60
2	520	3	60
3	540	3	60
4	560	3	60

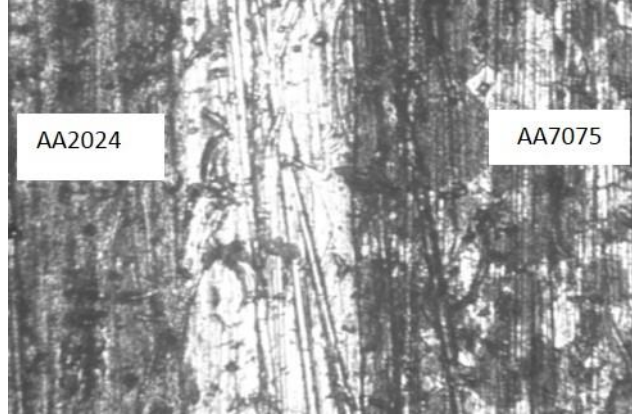


## Deneysel sonuçlar ve tartışma

### Mikro Sertlik Deneysel Sonuçları

Difüzyon kaynağındaki mekanik özelliklerin belirlenmesi için, kaynak bölgesi boyunca mikro sertlik ölçümleri alınmıştır. Mikro sertlik ölçümleri AOB marka Vickers ölçüm ünitesi cihazıyla kaynak bölgesi boyunca sertlik

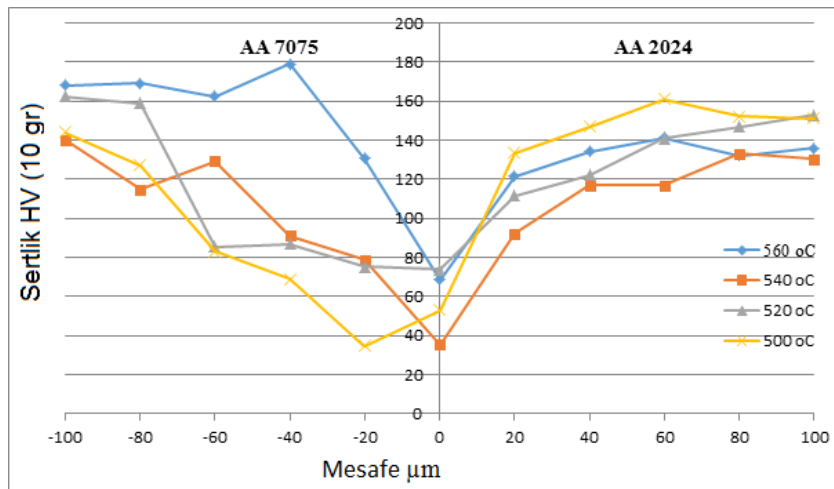
ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Difüzyon etkilenen bölgenin her iki tarafında 20  $\mu\text{m}$ 'luk aralıklar ile 10 gr yük altında 10 saniye süreyle yapıldı. Her sertlik ölçüm noktalarından dört ölçüm yapılmış sonuç değerlerinin ortalaması alınmıştır. Sertlik ölçüm noktalarının dağılımı Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Kaynak bölgesi boyunca mikro sertlik ölçümleri alınan AA2024 ve AA7075 alaşım malzemelere ait mikroyapı(50x)

Mikro sertlik değerleri; difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş AA2024 ve AA7075 metal çiftlerinin, aratabaka ve difüzyondan etkilenmiş kaynak bölgesi taranarak alınmıştır. Şekil 5'te difüzyon kaynak yöntemi ile 500°C, 520°C, 540°C ve 560°C sıcaklıkta ve 60 dakika bekleme

süresinde birleştirilmiş AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımı malzemelere ait sertlik grafikleri verilmiştir.



Şekil 5. Difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş AA2024 ve AA7075 malzemelere ait mikrosertlik değerleri

Difüzyon kaynağı ile dört farklı sıcaklık ve 60 dakika bekletme sürelerinde yapılmış kaynaklı bölgelerin sertlik profilleri incelendiğinde; AA 1050 aratabakadaki düşük sertlik değerlerinden yüksek sertlik değerlerine doğru bir tırmanış göstermektedir.

Difüzyon kaynaklı numunelere ait sertlik profilleri kendi aralarında kıyaslandığında, artan sıcaklığa bağlı olarak en belirgin değişimi Şekil 5’ de görülmektedir.

### Çekme Testi Sonuçları

Difüzyon kaynak yöntemi ile 500, 520, 540ve 560°C sıcaklıkta ve 60 dakika bekleme süresinde birleştirilmiş AA2024 ve AA7075 alüminyum çiftinin çekme kuvvetine karşı göstermiş olduğu direnci tespit etmek amacıyla çekme testleri yapılmıştır. Çekme kuvvetinin test sonuçları Tablo 4’de verilmiş, Difüzyon

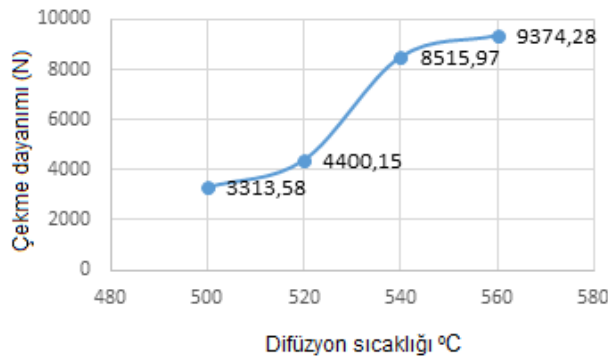
kaynağı ile birleştirilmiş AA2024 ve AA7075 alüminyum çiftinin çekme dayanımı/sıcaklık grafiği Şekil 6’da görülmektedir.

500°C’de birleştirilen numunelerin çekme dayanımı düşüktür. Bunun sebebi ise uygulanan sıcaklığın düşük oluşudur. Difüzyon kaynak bölgesinde zayıf bir bağ oluşumuna neden olmuştur. 540°C’de birleştirilen numunelerde çekme dayanımı 520°C’dekine göre daha yüksektir. Difüzyon kaynağında sıcaklığın artmasıyla çekme dayanımındaki bu yükseliş, AA 1050 aratabaka elementlerinin difüzyon miktarlarındaki artışına bağlıdır.

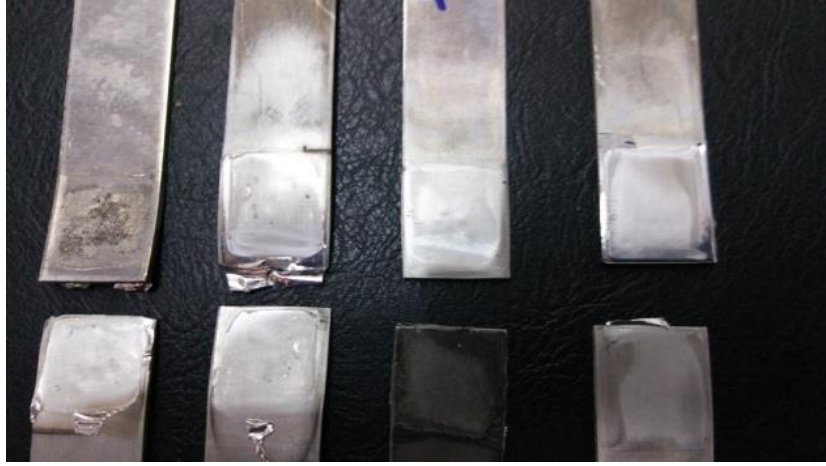
AA2024 / AA7075 alüminyum çiftinin çekme dayanımı testinden, en yüksek çekme mukavemeti 560°C sıcaklık ve 60 dakikalık sürede 9374,28 N olarak tespit edildi.

Tablo 4. Farklı sıcaklık parametreleriyle difüzyon kaynağı yapılmış numunelerin çekme deney sonuçları

Deney No	Difüzyon sıcaklığı (°C)	Basınç (MPa)	Zaman (Dakika)	Çekme Mukavemeti (N)
1	500	3	60	3313,58
2	520	3	60	4400,15
3	540	3	60	8515,97
4	560	3	60	9374,28



Şekil 6. AA2024 / AA7075 alüminyum çiftinin difüzyon sıcaklığı(°C) / çekme dayanımı(N) grafiği



Sekil 7. Çekme testine tabi tutulmuş numuneler

## SONUÇLAR

Bu çalışmada alüminyum (AA2024) ve (AA7075) alaşımları 55µm kalınlığında AA 1050 alüminyum folyo aratabaka kullanılarak atmosfer kontrollü fırında argon gazı ortamında 3 MPa statik basınç altında, 60 dakika bekleme süresinde ve dört farklı sıcaklıkta 500, 520, 540 ve 560°C sıcaklıkta difüzyon kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Difüzyon kaynak numunelerin mukavemetlerini belirlemek için çekme ve mikrosertlik testleriyle değerlendirilip, elde edilen nihai sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

1. Mikro sertlik sonuçları, AA7075 alüminyum bölgesinden aratabakaya doğru bir miktar düşüş gösterip AA2024 alüminyum tarafına doğru gittikçe artmış ve taranan bölgelerde en yüksek sertlik değeri AA7075 alüminyum bölgesinde 560°C sıcaklıkta 177 HV olarak tespit edilmiştir.

2. 500°C'de birleştirilen numunelerin çekme dayanımı düşüktür. Bunun sebebi ise uygulanan düşük sıcaklığın difüzyon kaynak bölgesinde zayıf bir bağ oluşumuna neden olmuştur.
3. 540°C'de birleştirilen numunelerde çekme dayanımı 520°C'dekine göre daha yüksektir. Difüzyon kaynağında sıcaklığın artmasıyla çekme dayanımındaki bu yükseliş, AA 1050 aratabaka elementlerinin difüzyon miktarlarındaki artışına bağlıdır. Difüzyon kaynağında düşük sıcaklıklarda yetersiz bir birleşmeye sebep olmaktadır.
4. İki farklı alüminyum alaşımının difüzyon kaynağında sıcaklık artıktıkça difüzyon oranının arttığı gözlenmiştir. Çekme testi sonucunda, en yüksek çekme dayanımı 560°C sıcaklık ve 60 dakikalık sürede difüzyon kaynağı yapılmış numune 9374,28 N olarak tespit edildi. Difüzyon sıcaklığı artırıldığında atomik difüzyonunun arttığı ve çekme mukavemetinde artış görüldüğü tespit edilmiştir.

## Kaynaklar

- Erdoğan, M., Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara,1:76-94, 1998.
- E. Cicala, D. Duffet, H. Andrejewski, D. Grevey, S. Ignat, Hot cracking in Al-Mg-Si alloy laser – welding-operating parameters and their effects, Materials Science and Engineering A 395, 1–9, 2005.
- E. Taban, E. Kaluç, EN AW–5083-H321 alüminyum alaşımının MIG, TIG ve sürtünen eleman ile birleştirme (FSW) kaynaklı bağlantılarının mekanik ve mikroyapısal özellikleri, Mühendis ve Makina 541, 40-51,2005.
- Ghosh M, Bhanumurthy K, Kale GB, Krishnan J, Chatterjee S (2003) Diffusion bonding of titanium to 304 stainless steel. J Nucl. Mater. 322:235-241
- H. Arık, M. Aydın, A. Kurt, M. Turker, Weldability of Al4C3-Al composites via diffusion welding technique, Materials and Design 26, 555–560, 2005.
- John Prakash S, Muthukumaran S (2011) Refillingprobe hole of friction spot joints by friction forming. Mater Manuf. Process 26:1539-1545
- Kundu S, Chatterjee S (2006) Interfacial microstructure and mechanical properties of diffusion bonded titanium-stainless steel joints using a nickel interlayer. Mater SciEng A 425:107-113
- L. Laiping, C. Shanben, L. Tao, The modeling of weldingpoolsurfacereflectance of aluminumalloy pulse GTAW, Materials Science and Engineering A 394, 320–326, 2005.
- N. Sidhom, A. Laamouri, R. Fathallah, C. Braham, H. P. Lieurade, Fatigue strength improvement of 5083 H11 Al-alloy T-welded joints by hot peening: experimental characterization and predictive approach, International Journal of Fatigue 27, 729–745, 2005.
- Sıla Ece Atabay, Arcan F. Dericioğlu (2016) Optimization of the Diffusion Bonding Parameters for 6063 Aluminium Alloy. 18. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi

## Joining of Different Aluminum Alloys with Diffusion Welding Method and Investigation of Mechanical Properties

### Extended abstract

Along with the developing technology, aluminum and its alloys have been increasingly used in important areas such as aerospace, military and automotive because of their good properties such as low density, low melting temperature, electrical and heat conductivity, very high abrasion and corrosion resistance. Diffusion welding is an important solid state joining process used for high quality bond formation between similar or different metals. This joining method doesn't contain the formation of unexpected phases which disrupt the mechanical properties of the welding region formed in conventional sources. It is possible to bond complex shaped parts by the diffusion welding. In this study, the welding capabilities of AA2024 and AA7075 aluminum alloy plates were investigated for different diffusion temperature. To make diffusion welding, the samples of 2 mm thickness were cut to 100x20 mm by using precision cutting machine. The 20 mm length affected from diffusion welding were grinded by 400, 600, 800 and 1000 mesh sanding surfaces. For the diffusion process. The 20 mm part of the samples were fixed under 3 MPA pressure with clamping. These experiments were made in an

atmospheric furnace. The welding process was started by sending argon gas with 3 l/min and 99.9% purity. Three samples were used for each welding parameter. For diffusion welding, it was carried out at constant pressure (3 MPA) and under argon gas atmosphere using 55µm thick aluminum foil. The diffusion welding was performed at four different temperatures (500, 520, 540 and 560°C). The waiting time at the diffusion welding determined as 60 minutes. Micro-hardness and tensile strengths of the samples were obtained in welding regions. To determine the mechanical properties of diffusion welding, micro-hardness measurements were taken throughout the welding region. Measurements were carried out throughout the welding region with AOB brand Vickers measuring device. The diffusion was performed for 10 seconds under 10 gr load at 20 µm intervals on both sides of the affected area. The four measurements were made from each hardness measurement point and the mean of the result values were taken. The highest hardness value in the regions scanned with micro hardness was obtained 177 HV at 560°C temperature in AA7075 aluminum region. At result of the tensile test, the highest tensile strength was determine to be 560°C temperature and 9374.28 N of the sample with diffusion welding during at the 60 minute wait time.

**Keywords:** Diffusion welding, Aluminum, Mechanical properties



## Eskişehir bastnasit cevherinde bulunan toryumun zenginleştirilmesi

### İbrahim Dolak

Dicle Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojileri Bölümü, 21280, Diyarbakır  
[idorak@dicle.edu.tr](mailto:idorak@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0002-2095-7614, Tel: +90 542 531 21 21

### Recep Ziyadanoğulları

Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 21280, Diyarbakır  
[recep.ziyadanoğullari@gmail.com](mailto:recep.ziyadanoğullari@gmail.com) ORCID: 0000-0003-3092-8080, Tel: +90 506 871 97 56

Geliş: 31.10.2018, Kabul Tarihi: 22.11.2018

### Öz

*Bu çalışma, Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi sınırları içinde bulunan ve ülkemiz ekonomisi açısından oldukça büyük bir öneme sahip olan nadir toprak element içerikli bastnasit cevherinde bulunan toryumun flotasyon işlemi ile seçici olarak cevherden ayırdıktan sonra çözelti ortamında zenginleştirilmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında temin edilen cevher örnekleri elek işlemine tabi tutulmuş, bu sayede numune homojenleştirilmiş ve flotasyon işlemine uygun tanecik boyutuna getirilmiştir (0.142 mm). Bu işlemden sonra cevherin bileşen analizi gerçekleştirilmiş ve bunun sonucunda cevher içerisinde bulunan toryum, seryum ve lantan gibi nadir toprak elementlerinin miktarları tespit edilmiştir. Çalışmanın devamında cevher içerisinde bulunan toryumu flotasyon işlemi ile cevher yapısından ayırmak ve zenginleştirmek amaçlanmıştır. Bu çalışmanın en önemli tarafı ise flotasyondan önce cevherin kristal yapısını değiştirerek belli bir tanecik boyutunda serbestleşme derecesini sağlamak ve daha sonra elde edilen örneğin flotasyonla toryum içeriğini ana mineralden yüksek verimle ayırmak olmuştur. Cevherin kristal yapısını değiştirerek belli bir boyutta serbestleşme derecesini arttırmak amacıyla yaptığımız işlem sülfürleme işlemidir. Bu amaçla yapılan deneylerde sülfürleme işlemine sıcaklık, süre ve H<sub>2</sub>S miktarının etkisi, flotasyon verimine ise pH, toplayıcı miktarı, pülp yoğunluğu ve bazı canlandırıcı ve bastırıcı reaktiflerin etkisi incelenmiş olup, tespit edilen optimum koşullarda cevher içerisinde bulunan toryumun flotasyon verimi %95, olarak tespit edilmiştir. Bu şekilde elde edilen konsantrde toryum tenörü % 0,019'dan % 0,37'lere kadar çıktığı tespit edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Toryum zenginleştirme, Bastnasit cevheri, Flotasyon, Sülfürleme

## 1. Giriş

Günümüzde, teknolojik ilerlemeye bağlı olarak her geçen gün yeni malzemeler üretilmekte ve ileri teknoloji malzemelerinin yaygın kullanımı hızla artmaktadır. Bu gelişim petrol üretiminden, ileri teknoloji seramikleri ve kalıcı mıknatıs alaşımları üretimine kadar birçok alanda kullanımı hızla artan nadir toprak elementleri rezervlerine önem kazandırmıştır. Nadir toprak elementleriyle birlikte bulunan toryuma ise geleceğin nükleer yakıtı gözüyle bakılmaktadır ve pek çok enerji kaynakları arasından nükleer enerjinin en önemli seçeneklerden biri olarak karşımızda durmaktadır. Toryum tek başına nükleer yakıt olarak kullanılamaz. Bunun için Fertil bir izotop olan Th-232 bir nötron yutarak U-233'e dönüştürülmelidir. Th-232, U-235 veya Pu-239 gibi başka bir fisil maddeyle üretgenlik döngüsüne başlamaktadır. Toryumlu yakıt denemeleri 1960 yıllarının ortalarında başlamasına rağmen güç reaktörlerinde kullanılmasına 1976 yılında başlanmıştır. Almanya, Hindistan, Japonya, Rusya, İngiltere ve ABD'de araştırma ve geliştirme çalışmaları bulunmaktadır.

Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi sınırları içerisinde bulunan cevher yatağı ülkemizde bulunan en önemli bastnasit, fluorit ve barit yatağıdır. Yatakta ortalama %3 tenörlü 4,000,000 ton nadir toprak cevheri bulunmaktadır. Cevherde bulunan nadir toprak elementleri bastnasit mineraline bağlıdır. Ancak cevher fluorit ve barit ile birlikte oldukça kompleks bir yapıya sahiptir. Yapısında bulunan nadir toprak elementleri ve özellikle de düşük tenörlü toryum içeriğinden dolayı devletçe işletilecek madenler kapsamında tutulan söz konusu cevherdeki mevcut nadir toprak elementleri ve toryum, kompleks cevher içinde bulunan bastnasit mineralinde bulunmakta olup, cevher % 0.02 dolaylarında toryum tenörüne sahiptir. Saha üzerinde yapılan çalışmalar 1959 yılına kadar uzanır. İlk aşamada yapılan çalışmalar, cevherleşmenin oluşumu ve yatağın rezervi konularında yoğunlaşmıştır (Kaplan vd, 1977;

Kulaksız vd 1977). Bununla beraber cevher yatağının teknolojik sorunlarını çözmek amacıyla da bazı ön teknolojik çalışmalar da gerçekleştirilmiştir (Çiftçi, 1984; Çiftçi vd, 1982). Nadir toprak elementlerini içeren minerallerin oluşumlarının çok ince taneli olmaları, fiziksel yollar ile zenginleştirilebilmesini ve onların mineral olarak tespit edilmelerini zorlaştırmıştır. Nadir toprak elementlerinin MTA genel müdürlüğü laboratuvarlarında analizleri yapılmış, analiz sonucu seryum, lantan, neodimyum, niyobyum gibi nadir toprak elementleri ve toryum tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda nadir toprak minerallerinin bastnasit şeklinde olduğu tespit edilmiştir (Elgin, 1983).

Cevher içerisinde bulunan toryumun cevherden ayrılması için yapılan çalışmalarda, asit liçi (İpekoğlu, 1983; Çiftçi vd, 1985), flotasyon (Çiftçi, 1985; Gündüz, 1992; Chamsaz vd, 2002; Cheng, 2000; Ren vd, 2000, Ren vd, 1997) sallantılı masa (Yüce, 1988; Önal, 1989), seçimli çöktürme (Kul vd, 2008; Vijalayakshmi vd, 2001; Chi vd, 2004) ve klorlama (Kopuz, 1992; Zhu vd, 2003) gibi metotlar kullanılmış olup yapılan tüm çalışmalarda istenilen düzeyde toryum zenginleştirilmesi yapılamamıştır.

Çözelti ortamında bulunan metal iyonlarının seçici olarak ayrılmaları için adsorpsiyon/biyosorpsiyon (Oral vd, 2011; Dolak vd, 2009; Dolak vd, 2010; Dolak vd, 2010; Yener vd, 2016; Oral vd, 2015), ekstraksiyon (Dolak vd, 2015; Dolak vd, 2011; Baysal vd, 2018; Dolak vd, 2018; Keçili vd, 2018;) gibi metotlar kullanılır. Flotasyon ve liç işleminden sonra cevher yapısından çözelti ortamına alınmış toryumun diğer bileşenlerden seçici olarak ayırmak için bu metotlardan bazıları kullanılmış ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Dolak, 2018; Dolak vd, 2011).

Bu çalışma, Eskişehir ili Sivrihisar ilçesi sınırları içinde bulunan ve ülkemiz ekonomisi açısından oldukça büyük bir öneme sahip olan toryum içerikli bastnasit cevherinden

toryumun flotasyon işlemi ile zenginleştirilmesi ve liç işlemi ile çözeltiye alınması amacıyla yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında temin edilen cevher örnekleri önce belirli tanecik boyutuna getirilmiştir. Bu şekilde öğütülmüş numunelerin homojen hale gelmesi için elek işlemi yapılmış ve tüm numune homojen hale getirilmiştir. Bu işlemden sonra cevherin bileşen analizi gerçekleştirilmiş ve bunun sonucunda cevherde bulunan toryum, seryum ve lantan gibi nadir toprak elementlerinin miktarları tespit edilmiştir. Çalışmanın devamında cevher içerisinde bulunan toryumun flotasyon işlemi ile cevher yapısından ayırmak ve zenginleştirmek amacıyla yapılan deneylerde, cevherin serbestlik derecesini artırıp flotasyon verimini artırmak amacıyla flotasyon öncesi cevher sülfürleme işlemine tabi tutulmuş ve bu sayede flotasyon verimi artırılmıştır. Sülfürleme optimizasyonu yapmak amacıyla yapılan deneylerde, sülfürleme işlemine sıcaklık, süre ve H<sub>2</sub>S miktarının etkisi gibi parametreler incelenmiş olup optimum sülfürleme koşulları belirlenmiştir. Flotasyon verimine ise pH, toplayıcı miktarı, pülp yoğunluğu ve bazı canlandırıcı ve bastırıcı reaktiflerin etkileri incelenmiş olup optimum koşullar tespit edilmiştir. Tespit edilen optimum koşullarda cevher içerisinde bulunan toryumun flotasyon veriminin %95 olduğu tespit edilmiştir. Bu şekilde elde edilen konsantrde toryum tenörü % 0,4'lere çıkarılmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise flotasyon işlemiyle cevher yapısından ayrılmış ve zenginleştirilmiş toryumun sülfatlaştırıcı kavurma ve H<sub>2</sub>O liçi metodları ile çözelti ortamına alınması için deneyler yapılmıştır. Bu amaçla konsantrde numuneler yüksek sıcaklıklarda kavurma işlemine tabi tutulmuş olup kavurma sıcaklığı ve kavurma süresi gibi parametreler incelenmiştir. Elde edilen optimum koşullarda toryumun tamamına yakınının çözelti ortamına alındığı tespit edilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Araştırma kapsamında yapılan deneysel çalışmaları 5 ana başlık altında toplayabiliriz. Bu başlıklar;

- Temin edilen cevher numunelerinin kırılıp, öğütülüp deneysel işlem için uygun tanecik boyutuna getirilmesi ve uygun tanecik boyutuna getirilmiş cevher numunelerinin elek işlemi ile homojenleştirilmesi: Cevher numunelerinin öğütülmesinde Baysan Marka kırıcı kullanılmıştır.
- Uygun tanecik boyutuna getirilmiş ve homojenleştirilmiş cevher numunelerinin bileşim analizi: Cevher numunelerinde bulunan toryumun ve diğer nadir toprak elementlerinin miktarlarını belirlemek amacıyla cevher numunelerinin çözünürleştirme işlemleri HNO<sub>3</sub>-HF çözücü karışımında Berghow marka MWS-2 model sıcaklık ayarlı mikrodalga içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu elementlerin tayinleri Perkin Elmer marka 2100 model ICP-OES spektrometresi kullanılarak yapılmış olup yapılan analizler sonucunda % 1.23 Lantan, % 1.01 Seryum ve % 0.029 Toryum olduğu tespit edilmiştir.
- Cevherdeki toryumun flotasyon verimini arttırmak amacıyla sülfürleme işleminin yapılması ve sülfürleme koşullarının optimizasyonu: Cevher numunelerinin sülfürleme işlemi Cr-Ni çeliğinden yapılmış, 1,3 L iç hacim ve 2 cm et kalınlığındaki bir hücreye sahip, 350 °C sıcaklığa ve 250 atm basınca dayanıklı özel tasarım otoklav içerisinde gerçekleştirilmiştir. (Şekil 1)





Şekil 1. Sülfürlemenin yapıldığı otoklav

- Sülfürlenmiş cevher numunelerinde bulunan toryumun flotasyon işlemi ile cevher yapısından ayrılıp konsantre edilmesi; flotasyon işleminde Denwer tipi flotasyon cihazı kullanılmıştır. Flotasyon işlemi sonrası konsantre ve artık numunelerde kalan toryum ve diğer nadir toprak elementlerinin analizleri Perkin Elmer marka 2100 model ICP-OES spektrometresi kullanılarak yapılmıştır.
- Flotasyon işlemiyle cevher yapısından ayrılmış ve konsantre edilmiş toryumun çözelti ortamına alınması; bu işlemde sülfatlaştırıcı kavurma ve H<sub>2</sub>O liçi metodları kullanılmış olup kavurma işleminde Carbolite marka tünel fırın kullanılmıştır. Kavurma işlemi sonrası çözeltiye geçen ve artıktaki kalan toryum ve diğer nadir toprak elementlerinin analizleri Perkin Elmer marka 2100 model ICP-OES spektrometresi kullanılarak yapılmıştır.

### 2.1.Sülfürlemede kullanılan reaktifler

Sülfürleme işlemi, sıcaklık ve basınç ayarlı otoklav içerisinde aşağıdaki reaksiyon gerçekleştirilerek yapılmıştır.

- $FeS_2 \rightarrow FeS + S$  (Havasız ortamda 725 °C'de kavurma işlemi) (1)
- $2FeS + H_2SO_4 \rightarrow H_2S(g) + FeSO_4$  (2)

Reaksiyon (1) ve (2)'den görüldüğü üzere sülfürleme işleminde sülfür kaynağı olarak

pirit, asit olarak da teknik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılmıştır.

### 2.2.Flotasyon işleminde kullanılan reaktifler

Toryum flotasyonunda, toplayıcı olarak Merck marka potasyum amil ksantat, köpürtücü olarak DW-250, canlandırıcı olarak Merck marka FeCl<sub>3</sub>, pH ayarlamalarında NaOH (Merck marka tuzundan hazırlanmış 0.1 M çözeltisi) ve HNO<sub>3</sub> (Merck marka % 65'lik HNO<sub>3</sub>'ten gerekli seyreltmeler yapılarak hazırlanmış 0.1 M'lık çözeltisi) ve bastırıcı olarak Merck marka Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> çözeltisi kullanılmıştır. Sülfatlaştırıcı kavurma liçi işleminde Fluka marka % 98'lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve bidistile saf su, çözünürleştirme işleminde Sigma Aldrich marka HF ve Merck marka HNO<sub>3</sub> kullanılmıştır.

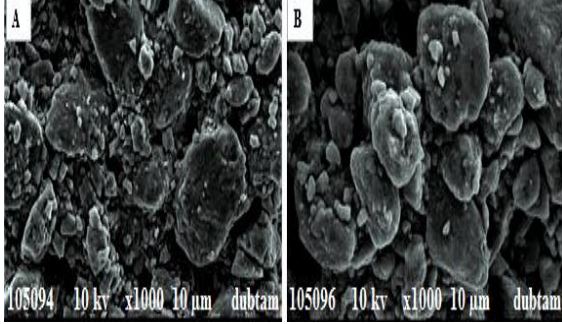
Bastnasit cevherinin karakterizasyon çalışmalarında SEM görüntüleri marka FEI marka Quanta FEG 250 model SEM cihazı ile, IR spektrumları Perkin Elmer marka Spectrum 400 FT-IR model IR spektrofotometresi ile yapılmıştır.

Çalışma süresince yapılan toryum analizlerinde kullanılan toryum standartları Merck marka Th(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O tuzundan hazırlanmıştır. Th(IV) bakımından 100 mg/L'lik stok çözelti hazırlanmış olup analizlerde 1.0, 5.0, 10.0 ve 20.0 mg/L'lik standartlar kullanılmıştır. Yapılan bütün deneylerde işlem öncesi ve işlem sonrası pH ölçümleri Mettler Toledo marka dijital pHmetre kullanılarak yapılmıştır.

### 3. Uygulama ve Başarımlar

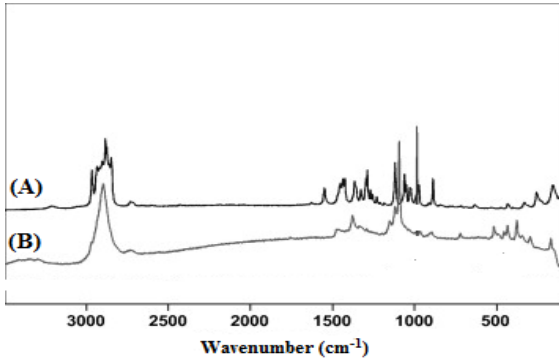
#### 3.1.Cevher numunesi ile ilgili karakterizasyon çalışmaları

##### 3.1.1. SEM görüntüleri



Şekil 2. Bastnasit cevherinin SEM görüntüleri (A) sülfürleme öncesi (B) sonrası

##### 3.1.2. IR spektrumları



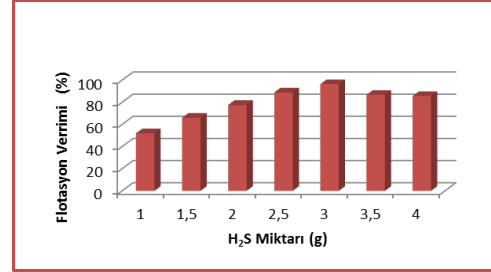
Şekil 3. Bastnasit cevherinin IR spektrumları (A) sülfürleme öncesi (B) sülfürleme sonrası

### 3.2. Flotasyon Öncesi Optimum Sülfürleme Koşullarının Belirlenmesi

Çalışmanın ilk aşamasında bastnasit cevherinden toryumu ayırmak amacıyla flotasyon işlemi uygulanmış ancak flotasyon veriminin oldukça düşük seviyelerde kaldığı gözlenmiştir. Flotasyon veriminin düşük kalmasının nedeninin cevherin minerolojik yapısından kaynaklandığı düşünülmüş ve bunun çözümü amacıyla serbestleşme derecesini arttırmak amacıyla sülfürleme işlemi yapılmış ve toryumun flotasyon verimi artırılmıştır.

#### 3.2.1.Sülfürlemede kullanılan Optimum H<sub>2</sub>S Miktarının Tespiti

Yapılan deneylerde sülfürleme ortamındaki H<sub>2</sub>S miktarının flotasyon verimine etkisi incelenmiş olup elde edilen sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir.

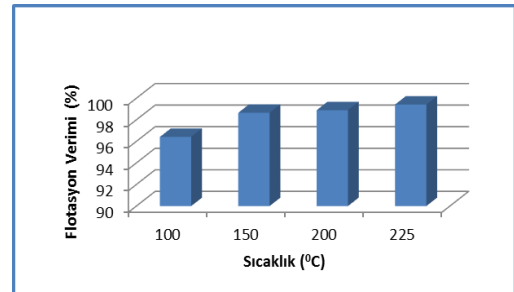


Şekil 4. Toryumun flotasyon verimine H<sub>2</sub>S miktarı etkisi

Şekil 4'de görüldüğü üzere sülfürleme işlemi esnasında kullanılan H<sub>2</sub>S miktarı arttıkça toryumun flotasyon veriminin bir noktaya kadar arttığı ve o noktadan itibaren tekrar bir azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Belirlenen koşullarda elde edilen optimum noktada (100 g cevher numunesi için 3g H<sub>2</sub>S) toryumun flotasyon veriminin % 96.41 olduğu tespit edilmiş olup elde edilen konsantredeki toryum içeriğinin %0.28 olduğu yapılan analizler sonucunda tespit edilmiştir.

#### 3.2.2.Optimum Sülfürleme Sıcaklığı Tespiti

Elde edilen optimum H<sub>2</sub>S miktarı koşullarında yapılan deneylerde flotasyon verimine sülfürleme sıcaklığı etkisi incelenmiş olup elde edilen sonuçlar Şekil 5'de verilmiştir.

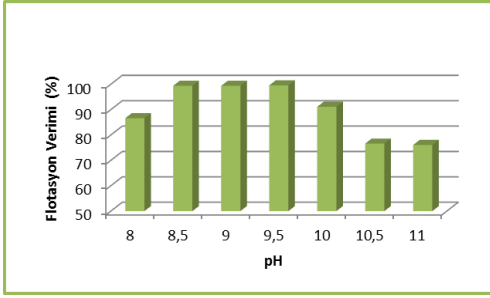


Şekil 5. Toryumun flotasyon verimine sülfürleme sıcaklığının etkisi

Şekil 5'te görüldüğü üzere sülfürleme sıcaklığının artmasıyla toryumun flotasyon verimlerinin arttığı tespit edilmiştir. Belirlenen koşullarda elde edilen optimum noktada toryumun flotasyon veriminin % 99.41 olduğu tespit edilmiş olup elde edilen konsantredeki toryum tenörünün sırasıyla %0.31 olduğu yapılan analizler sonucunda tespit edilmiştir. Bu aşamada dikkatleri çeken en önemli husus sülfürleme sıcaklığının artmasıyla yüzen miktarın azalması ve buna paralel olarak elde edilen konsantredeki toryum tenörünün daha çok artmasıdır.

### 3.2.3. Flotasyon işleminde optimum pH tespiti

Toryumun flotasyon verimine pH'ın etkisini incelemek amacıyla deneyler yapılmış elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.

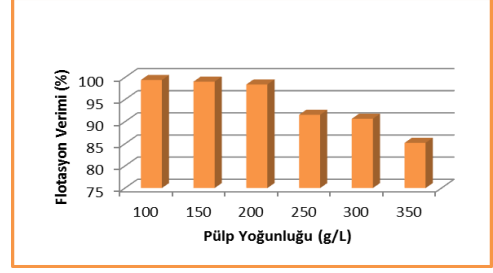


Şekil 6. Flotasyon verimine pH etkisi

Şekil 6'da görüldüğü üzere, en iyi flotasyon veriminin pH 9.50'de olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu pH'da yüzen madde miktarı fazla olduğundan dolayı elde edilen konsantredeki toryum tenörleri pH 8.50'de elde edilen konsantre tenörlerinden düşük olmuştur. Bu yüzden flotasyon verimi yanında yüzen miktarda önemli olduğu için en ideal pH'nın yüzen madde miktarını da göz önüne alınmasıyla 8.50 olduğu sonucuna varılmıştır.

### 3.2.4. Flotasyon işleminde optimum pülp yoğunluğu tespiti

Toryumun flotasyon işleminde optimum pülp yoğunluğunu belirlemek amacıyla elde edilen optimum koşullarda deneyler yapılmış olup sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.

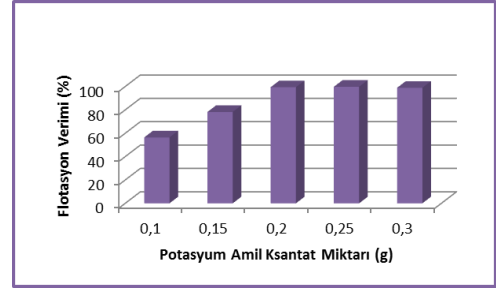


Şekil 7. Toryumun flotasyon verimine pülp yoğunluğu etkisi

Şekil 7'de görüldüğü üzere, 200 g/L pülp yoğunluğuna kadar toryumun flotasyon veriminin değişmediği tespit edilmiş olup yüzen madde oranının değişmesinden dolayı oluşan konsantrelerdeki toryum tenörleri küçük farklılıklar göstermektedir. Pülp yoğunluğunun 250 g/L'e çıkmasıyla flotasyon veriminin azaldığı yapılan analizler sonucunda tespit edilmiştir.

### 3.2.5. Flotasyon verimine toplayıcı (Potasyum amil ksantat) etkisi

Toryumun flotasyon işlemlerinde uygun toplayıcı miktarını tespit etmek amacıyla elde edilen optimum koşullarda deneyler yapılmış olup sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir.



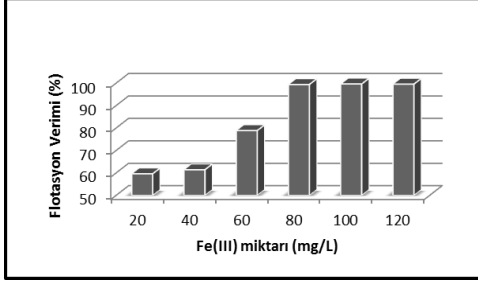
Şekil 8. Toryumun flotasyon verimine toplayıcı miktarı etkisi

Şekil 8'den görüldüğü üzere, elde edilen optimum koşullarda yapılan deneylerde 0.25 g toplayıcı kullanıldığında toryumun flotasyon veriminin sırasıyla 99,78 olduğu tespit edilmiş olup bu koşullarda oluşan konsantredeki tenörleri sırasıyla ve % 0.327 olarak bulunmuştur. Ancak 0.20 g toplayıcı kullanıldığında ise toryumun flotasyon veriminin daha düşük olmasına rağmen tenörünün % 0,345 olduğu, toplayıcı

miktarının 0.25 grama çıkarılmasıyla flotasyon verimi arttığı halde yüzen miktarda arttığı için toryum tenörü azalmıştır.

### 3.2.6. Flotasyon Verimine Canlandırıcı Olarak Fe(III) Etkisi

Toryumun flotasyon verimlerine canlandırıcı olarak Fe(III) etkisini incelemek amacıyla deneyler yapılmış olup sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Toryumun flotasyon verimine canlandırıcı etkisi

### 3.3. Konsantrelerden toryumun çözelti ortamına alınması

Flotasyon sonrası elde edilen konsantrelerden toryumun çözelti ortamına alınması amacıyla sülfatlaştırıcı kavurma ve sonrasında yapılan liç işleminde ilk aşamada H<sub>2</sub>O, ikinci aşamada 0.1 M'lık H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi kullanılmış bu amaçla kavurma süresi ve kavurma sıcaklığına bağlı olarak deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Liç işlemi sonucu çözelti ortamına geçen toryum miktarları

Süre (Saat)	H <sub>2</sub> O'ya geçen % toryum	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 'e geçen % toryum	Artıkta kalan % toryum
1	20.30	69.75	9.95
2	20.64	71.94	8.42
3	21.28	76.52	2.30
4	21.47	77.43	1.10
5	24.61	74.81	0.58
6	27.33	71.09	1.58

Tablo 1'den de görüldüğü üzere flotasyon işlemi sonucu elde edilen konsantredeki toryumun çözelti ortamına alınması için uygulanan sülfatlaştırıcı kavurma işleminde en uygun sıcaklığın 650 °C, en uygun süreninde 5 saat olduğu sonucuna varılmıştır. Bu koşullarda yapılan kavurma işlemi sonucunda konsantredeki toryumun toplamda % 99.48'inin çözelti ortamına alındığı yapılan analizler sonucu tespit edilmiştir.

## 4. Sonuçlar ve tartışma

Eskişehir Sivrihisar-Beylikahır yöresinden temin edilen ve özellikle toryum içeriğine göre ülkemiz ekonomisi açısından oldukça büyük bir öneme sahip olan nadir toprak element içerikli bastnasit cevherinde bulunan toryumun zenginleştirilmesi amacıyla yapılan çalışmada, cevher bünyesinde bulunan % 0.029 oranındaki toryum içeriğini flotasyon işlemi ile konsantre etmek amaçlanmıştır. Cevher numunesi olduğu gibi flotasyon işlemine tabi tutulduğunda flotasyon veriminin düşük kaldığı bu yüzden cevherin serbestlik derecesini arttırmak için flotasyon öncesi sülfürleme işlemine tabi tutulmuştur. Sülfürleme işlemi sonrası yapılan flotasyon işlemlerinde elde edilen optimum koşullarda toryumun % 99.41'i flote edilmiş bu şekilde elde edilen konsantredeki toryum içeriği % 0.370'lere kadar yükselmiştir. Ana cevherdeki yüzdesine bakıldığında yaklaşık % 13'e yakın bir zenginleştirme işlemi yapılmıştır. Çalışmanın devamında konsantre edilen toryum sülfatlaştırıcı kavurma liçi ile elde edilen optimum koşullarda % 99.48'i çözeltiye alınmıştır. Toryumun özellikle nükleer sanayide uranyumun alternatifi olduğu düşünülürse yapılan çalışmanın önemi ayrıca ortaya çıkmaktadır.

## Kaynaklar

- Baysal Z., Aksoy E., Dolak İ., Ersöz A., Say R., (2018) Adsorption behaviours of lysozyme onto poly-hydroxyethyl methacrylate cryogels containing methacryloyl antipyrine-Ce(III), *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, **67**, 199-204.
- Chamsaz M., Hosseini M.S., Arbab-Zavar M.H., (2002) Synergic Flotation Spectrophotometric Investigation of Rare Earth(III) Ions with Alizarin and 1,10-Phenanthroline, *Journal of Colloid Interface Science*, **256**, 472-476.
- Cheng T.V., (2000) The point of zero charge of monazite and xenotime, *Mineral Engineering*, **13**, 105-109.
- Chi R., Zhang X., Zhu G., Zhou Z.A., Wu Y., Wang C., Yu F., (2004) Recovery of rare earth from bastnasite by ammonium chloride roasting with fluorine deactivation, *Minerals Engineering*, **17**, 1037-1043.
- Çiftçi M.S., Kumru C., (1982) MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, *MTA Dergisi*, Ankara.
- Çiftçi M.S., (1985) Eskişehir-Sivrihisar-Beylikahır fluoritli kompleks cevher yatağının fluorit yönünden değerlendirilmesine ilişkin ön teknolojik çalışmalar *MTA Dergisi*, **103**, 82,83.
- Çiftçi M.S., Kumru C., (1985) MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknoloji Daire Başkanlığı, *MTA Dergisi*, Ankara.
- Dolak İ., Teğin İ., Güzel R., (2009) Synthesis and preconcentration of Amberlite XAD-4 resin modified by dithioethylenediamine, *Asian Journal of Chemistry*, **21**, 165-175.
- Dolak İ., Teğin İ., Güzel R., (2010) Removal and Preconcentration of Pb(II), Cr(III), Cr(VI) from the Aqueous Solution and Speciation of Cr(III)-Cr(VI) by Using Functionalized Amberlite XAD-16 Resin with Dithioethylenediamine, *Asian Journal of Chemistry*, **22**, 6117-6125.
- Dolak İ., Teğin İ., Güzel R., (2010) Removal and Preconcentration of Pb(II), V(V), Cr(VI) from the Aqueous Solution and Selective Separation of V(V)-Cr(VI) by Using Functionalize Amberlite XAD-16 Resin with Dithioethylenediamine, *Asian Journal of Chemistry*, **22**, 6107-6116.
- Dolak İ., Karakaplan M., Ziyadanogulları B., Ziyadanogulları R., (2011) Solvent Extraction, Preconcentration and Determination of Thorium with Monoaza 18-Crown-6 Derivative, *Bulletin of the Korean Chemical Society*, **32**, 1564-1568.
- Dolak İ., Keçili R., Hür D., Ersöz A., Say R., (2015) Ion-imprinted polymers for selective recognition of neodymium (III) in environmental samples, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **54**, 5328-5335.
- Dolak İ., (2018) Selective Separation and Preconcentration of Thorium (IV) in Bastnaesite Ore Using Thorium (IV)-Imprinted Cryogel Polymer, *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, **46**, 187-197.
- Elgin G., (1983) MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, *MTA Dergisi*, Ankara.

- Gündüz M., (1992) Eskişehir- Sivrihisar kompleks cevherinden fluorit, barit ve bastnasit kazanılması, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Ankara.
- İpekoğlu B., (1983) Eskişehir - Beylikahır toryum cevherinin değerlendirilmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, İstanbul.
- Kaplan H., (1977) MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, *MTA Dergisi*, 1977, Ankara.
- Keçili R., Dolak İ., Ziyadanoğulları B., Ersöz A., Say R. (2018) Ion imprinted cryogel-based supermacroporous trapsfor selective separation of cerium (III)in real sample, *Journal of Rare Earths*, **36**, 857-862.
- Kopuz B., (1992) Klorlama yöntemiyle cevherlerde toryum kazanma veriminin artırılması, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, İstanbul.
- Kul M., Topkaya Y., Karakaya İ., (2008) Rare earth double sulfates from pre-concentrated bastnasite, *Hydrometallurgy*, **93**, 129-135.
- Kulaksız S., (1977) Eskişehir toryum cevherinin değerlendirilmesi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Ankara.
- Oral E.V., Dolak İ., Temel H., Ziyadanoğulları B., (2011) Preconcentration and determination of copper and cadmium ions with 1,6-bis(2-carboxy aldehyde phenoxy)butane functionalized Amberlite XAD-16 by flame atomic absorption spectrometry, *Journal of Hazardous Materials*, **186**, 724-730.
- Oral E.V., Özdemir S., Dolak İ., Okumus V., Dundar A., Ziyadanoğulları B., Aksoy Z., Onat R., (2015) Anoxybacillus sp. SO B1– Immobilized Amberlite XAD-16 for Solid-Phase Preconcentration of Cu(II) and Pb(II) and Their Determinations by Flame Atomic Absorption Spectrometry, *Bioremediation Journal*, **19**, 139-150.
- Ren J., Song S., Lopez-Valdivieso A., Lu S., (2000) Selective flotation of bastnaesite from monazite in rare earth concentrates using potassium alum as depressant, *International Journal of Mineral Processing*, **59**, 237,245.
- Ren J., Song S., Lu S., Niu J., (1997) A new collector for rare earth mineral flotation, *International Journal of Mineral Processing*, **10**, 1395-1404.
- Vijalayakshmi R., Mishra S.L., Singh H., Gupta C.K., (2001) Processing of xenotime concentrate by sulphuric acid digestion and selective thorium precipitation for separation of rare earths, *Hydrometallurgy*, **61**, 75-80
- Zhu G., Chi R., Shi W., Xu Z., (2003) Chlorination kinetics of fluorine-fixed rare earth concentrate, *Minerals Engineering*, **16**, 671-674.

## **Enrichment of thorium in Eskişehir bastnasit ore**

### **Extended Abstract**

*This study was carried out with the aim of enriching thorium with thorium containing thorium which is within the boundaries of Sivrihisar district of Eskişehir province and having a great importance in terms of economy of our country by flotation process and taking it into solution by leaching process.*

*The ore samples supplied in the first stage of the study were first brought to the specific particle size. In this way, the sieves were processed to homogenize the ground samples and the whole sample was homogenized. After this process, the component analysis of the ore was carried out and as a result the amount of rare earth elements such as thorium, cerium and lanthanum were determined.*

*In the continuation of the study, in order to separate and enrich the thorium from the ore structure by flotation process, the ore was subjected to sulphurization before the flotation in order to increase the freedom of the ore and increase the flotation efficiency. In the experiments conducted in order to make the sulfurization optimization, parameters such as temperature, duration and the effect of H<sub>2</sub>S amount were investigated and optimum sulfating conditions were determined.*

*The effect of flotation efficiency on pH, amount of collector, bull density and some repressive and repressive reagents were investigated and optimum conditions were determined. The flotation yield of thorium found in the ore was found to be 95% in the optimum conditions determined. In this concentrate, thorium grade was increased to 0.4%.*

*In the final stage of the study, experiments were carried out to remove enriched thorium from sulphate and sulphate roasting and H<sub>2</sub>O leaching methods. For this purpose, concentrated samples were subjected to roasting at high temperatures and parameters such as roasting temperature and roasting time were examined. It was determined that almost all of thorium was taken into solution environment under optimum conditions.*

**Keywords:** *Thorium enrichment, Bastnasit ore, Flotation, Sulfurization*



## Prunus avium kiraz yaprağı özütü ile gümüş nanopartikül (AgNP) sentezi ve antimikrobiyal etkisinin incelenmesi

**Mehmet Fırat BARAN\***

Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu,  
[mfiratbaran@gmail.com](mailto:mfiratbaran@gmail.com) ORCID: 0000-0001-8133-6670 Tel:05443204421

Geliş: 24.11.2018, Kabul Tarihi: 12.12.2018

### Öz

Çalışmada çevre dostu sentez yöntemi ile biyolojik kaynaktan (*Prunus avium* yaprak özütünden) yararlanarak AgNP'ler başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. Ultraviyole/görünür ışık absorpsiyon spektrofotometresi (UV-vis), X-ışını kırınımı (XRD), termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz (TGA-DTA), Fourier transform infrared Spektroskopisi (FT-IR), taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını (EDAX) analizleri ile partiküller karakterize edilmiştir. Elde edilen bu partiküllerin mikroorganizmalar üzerindeki antimikrobiyal etkisine bakıldı ve üremeleri üzerinde inhibe edici etki gösterdikleri tespit edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Gümüş nanopartikül, SEM, XRD

\* Yazışmaların yapılacağı yazar



## Giriş

Nanoteknoloji, nano ölçekte metal ve metal oksit malzemelerin tasarlanması ve üretiminin incelenmesi sebebi ile 21 yüzyılın bilimleri arasında anahtar rolü oynamaktadır (Vishnukumar vd., 2018). Nano ölçekteki malzemelerin kullanım alanı oldukça yaygındır. Bunlar altın, gümüş, çinko, bakır, nikel, palladyum vs. olup medikal alanda, farmakolojide, optikte, elektronikte, yiyecek endüstrisinde, tekstilde, atık suların bioremidasyonunda ve tarımda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Board 2014;., Fernández vd., 2016; Azarang vd., 2014). Nanopartiküller farklı yöntemlerle sentezlenmektedirler. Bunlar fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerdir. Ancak fiziksel ve kimyasal yöntemler pahalı ve toksik kimyasallar içermesi sebebi ile dezavantajları yüksektir (Bhat vd. 2015; Geethalakshmi ve Sarada 2010). Biyolojik sentez oldukça ucuz, çevre dostu ve güvenli bir yöntemdir. Bu avantajları sayesinde daha fazla tercih edilmektedir (Latha vd., 2018). Biyolojik sentezde, bakteriler, funguslar, algler ve çeşitli bitkilerin farklı kaynaklarından yararlanılır (Nanda, vd., 2018). Çalışmada biyolojik sentez yöntemi kullanılarak atık durumundaki *Prunus avium* (kiraz) bitkisinin yaprak özütleri kullanılarak AgNP'ler sentezlenmiştir.

## Materyal ve Yöntem

### Bitki özütünün hazırlanması

*Prunus avium* bitkisinin yaprakları özüt hazırlamak için kullanılmıştır. Bitkinin yeşil yaprakları toplanmış ve bir dizi çeşme suyu ile yıkama işleminin ardından son olarak distile suyla yıkanarak oda ısısında kurutulmuştur. Kurutulmuş formdaki yaprakların boyutları küçültüldü ve 100 ml distile suda 5 dakika kaynatıldı. Ardından oda ısısında soğutuldu ve Whatman No.1 süzgeç kağıdı ile süzme işleminin ardından sentez için hazır hale getirildi.

### Gümüş nanopartiküllerin sentezi

1 mM  $AgNO_3$ 'ın sulu ortamı gümüş nanopartiküllerin sentezi için kullanılmıştır. Özüt ve çözelti 1:4 oranında karıştırıldı ve oda koşullarında bekletildi.

### UV-Vis. spektrofotometre ölçümü

$Ag^+ - Ag^0$  formuna indirgenmesinde SHIMADZU UV-3600 model UV-Vis. Spektrofotometre kullanılarak beşer dakikalık aralıklarla yapılan ölçümlerle gümüş nanopartiküllerin oluşumu gözlemlendi.

### FT-IR ölçümü

İndirgemeye katılan ve sorumlu olan fonksiyonel grupların değerlendirilmesi için Perkin elmer one model FTIR cihazı analizlerde kullanıldı.

### XRD analizi

RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü X-ışını kırınım difraktometresi ile elde edilen nano partiküllerin X-ışınımı kırılım deseni ile kristal boyut analizi yapıldı.

### SEM ve EDAX analizi

Nanopartiküllerin görünümü ve gümüş element kompozisyonu EVO 40 LEQ Model cihaz ile yapıldı.

### Termogravimetrik ve differensiyel termal analiz (TGA-DTA)

Shimadzu TGA-60 H Model cihazı ile elde edilen AgNP'ler 25-900°C de TGA ve DTA sonuçları ile 10°C/dak ısıtma hızıyla  $N_2(g)$  atmosferinde 20 mL/dak akış hızıyla belirlendi.

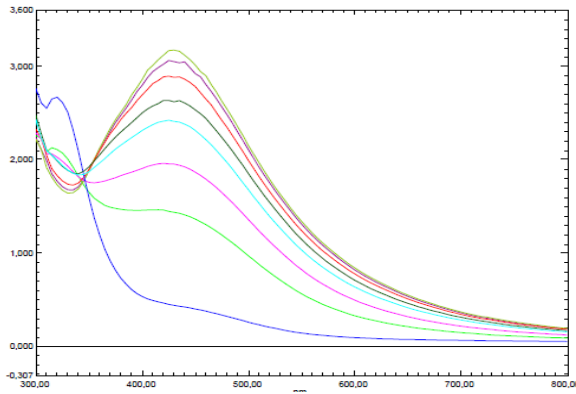
### Antimikrobiyal etkinin belirlenmesi

Çalışmada antimikrobiyal aktivite hastane patojeni olan; gram pozitif *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, gram negatif *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterileri ve *Candida albicans* mayası üzerinde mikrodilüsyon yöntemi ile Minimum İnhibe Edici Konsantrasyon (MİK) belirlenerek yapıldı. Çalışmada mikropilaka kuyucuklarına muller Hilton besiyeri, Mc Farland 0,5 konsantrasyona göre ayarlanmış

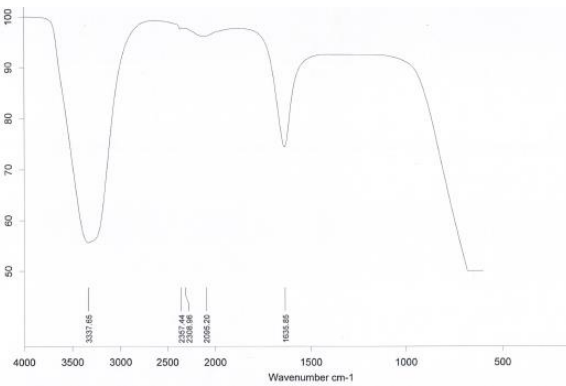
mikroorganizma solüsyonlarından ve AgNP çözeltisinden uygun miktarlarda eklenerek 37°C de inkübasyona bırakıldı ve sonrasında üremenin sonlandığı MİK belirlendi. Ayrıca karşılaştırma amaçlı *S.aureus*, *E.coli* ve *C.*

### Bulgular ve tartışma

Gümüş nanopartiküllerin oluşumu, plazma yüzeyindeki titreşimler meydana getirmesi ile çözeltinin rengini sarıdan kahverengiye doğru değiştirir bu durum nanopartiküllerin oluşumunu gösterir (Geethalakshmi ve Sarada 2010; Al-ogaidi vd., 2017). Çalışmada gözlemlenen renk değişimi ve UV-Vis. ölçümlerindeki 427 nm maksimum absorbansa sahip veriler bu oluşumu desteklemektedir (Şekil 1). Yeşil kahve ile yapılan çalışmada benzer absorpsanlar görülmektedir (Wang vd. 2017).

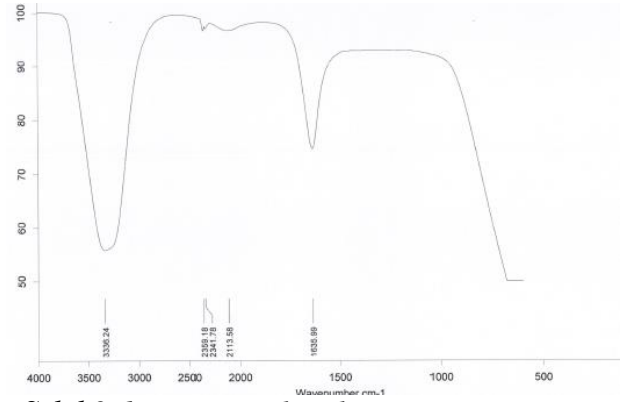


Şekil 1. Bitkisel kaynaklı sentezlenen AgNP'lerin UV-Vis. spektrofotometresiyle AgNP'lerin oluşumu ve varlığının izlenmesi.



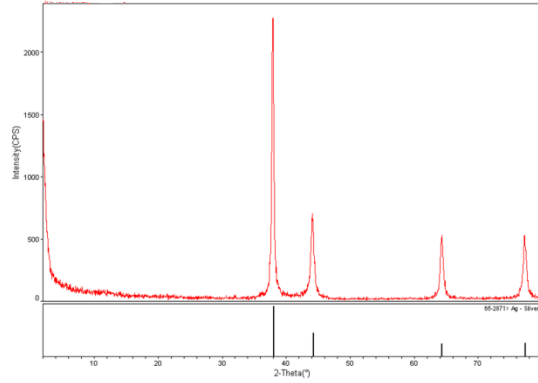
Şekil 2. a. FTIR analizi ile sentez öncesi indirgemede katılan foksiyonel grupların değerlendirilmesi.

*albicans* için verilen sıraya göre vankomisin, colistin ve flukanozol ticari antibiyotikleri ve 1 mM AgNO<sub>3</sub> 'ın sulu çözeltisi kullanıldı.

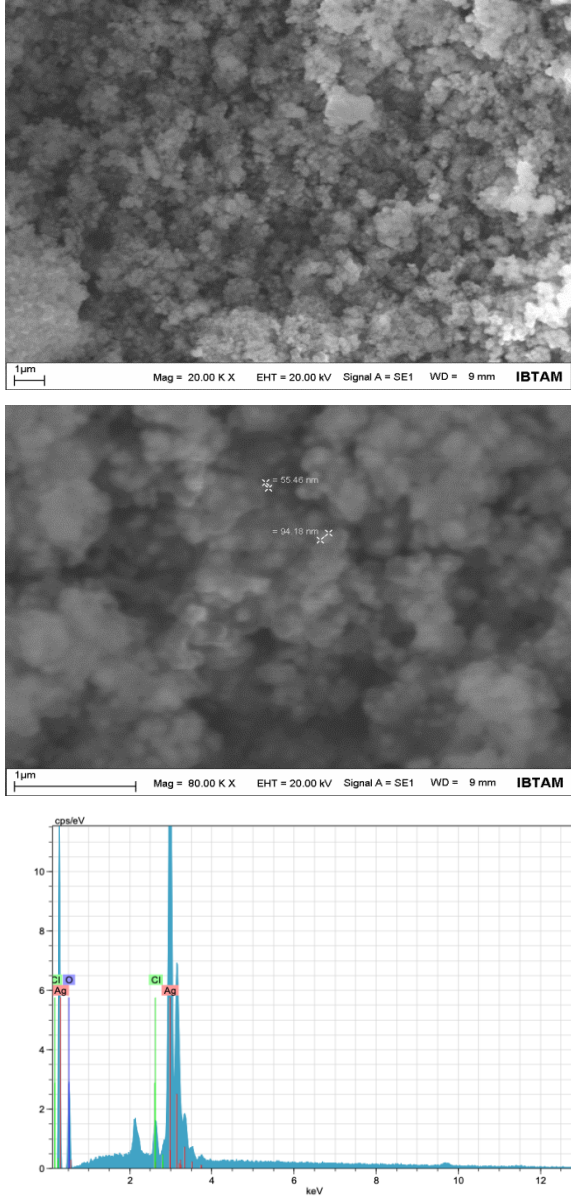


Şekil 2. b. FTIR analizi ile sentez sonrası indirgemede katılan foksiyonel grupların değerlendirilmesi.

Elde edilen AgNP'lerin X-ışınımı kırınımı değerlendirildi (Şekil 3.) ve 111, 200, 220 ve 311 deki gümüşe ait karakteristik pikler ( $2\theta$  da 37.97°, 44.11°, 64.36° ve 77.72° değerleri ile) gümüşün kristal yapısını gösterdi. *Sida cordifolia* bitki özütü ile yapılan sentez sonucu benzer veriler elde edildiği görülmüştür (Pallela vd., 2018).



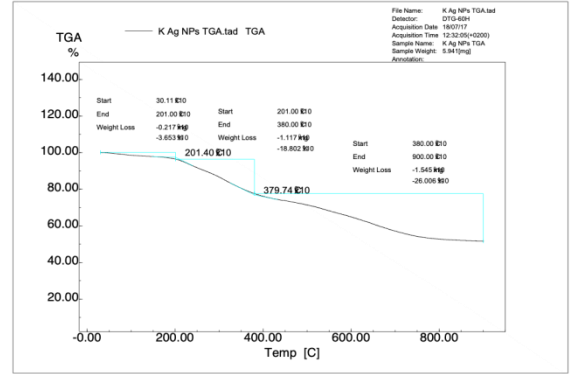
Şekil 3. Bitkisel kaynaklı sentezlenen AgNP'lerin XRD ile kristal yapısı ve gümüşe ait fazların değerlendirilmesi



Şekil 4. Bitkisel kaynaklı sentezlenen AgNP'lerin SEM/EDAX ile görünümü ve element kompozisyonu

AgNP'lerin SEM görüntüleri değerlendirildi ve küresel görünümde oldukları tespit edildi (Şekil 4). *Trianthema decandra* özütü ile partiküllerin ortalama 15 nm oldukları tespit edilmiştir (Geethalakshmi ve Sarada 2010). *Sterculia foetida* özütü ile 20-30 nm arasında değişen boyutlarda küresel görünümde nano partikülleri sentezlemişlerdir (Premkumar vd., 2018). Orkide özütü ile yapılan bir diğer çalışmada ise 15-40 nm arasında değişen küresel görünümlü AgNP'ler elde etmişlerdir (Gopinath vd., 2017).

TGA-DTA verilerinde nanopartiküllerin 25-201°C de kütle kaybının nereden olduğu 201-379 °C'de meydana gelen kütle kaybının ise özütten gelen fitokimyasalların sebep olduğu, 379-900°C de ise malzemenin bozulduğunu Şekil 5 de verilmiştir. Yapılan bir çalışmada PbO nanoparçacıklarının bozunma sıcaklıkları 50-800°C TGA verileri rapor edilmiştir (Yousefi vd., 2014).



Şekil 5. Bitkisel kaynaklı sentezlenen AgNP'lerin TGA –DTA bulguları

Son zamanlarda mikroorganizmalara karşı kullanılan antibiyotiklerin düzensiz kullanımı bu organizmaların direnç geliştirmesine neden olmuştur. Bu durum ticari olarak kullanılan ilaçların etkisinin zayıf iç kalmasına ya da hiç etki etmemesine neden olmaktadır. Alternatif antimikrobiyal ajanların aranması noktasında çevre dostu sentez ile elde edilen gümüş nanopartiküller anahtar rol oynayabilir. Çalışmada elde edilen AgNP'lerin antimikrobiyal aktivitesi değerlendirildi (Tablo 1.). Kullanılan antibiyotiklerden daha etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca 1 mM gümüş nitrat çözeltisinden de daha fazla antimikrobiyal etki göstermiştir. Yapılan çalışmada gram negatifler için 12.25 µg/ml ve gram pozitifler için 6.25 µg/ml konsantrasyonlarında etkili olduğunu rapor etmişlerdir (Pallela vd., 2018). Bir diğer çalışmada ise gram negatifler için 80-90 µg/ml gram pozitifler için ise 40-60 µg/ml olarak MİK değerlerini sonuç olarak bulmuşlardır (Patil vd., 2018). Başka bir

sentez çalışması sonrası antimikrobiyal etki ise negatif patojen için 10 µg/ml ve 7.5 µg/ml lik konsantrasyon ise pozitif mikroorganizmalar için MİK değerlerini vermişlerdir (Saravanakumar vd., 2018). Bir diğer çalışmada da sentezledikleri AgNP'lerin antimikrobiyal aktivite gösterdiklerini görmüşlerdir (Premkumar vd., 2018).

Tablo 1. AgNP'lerin antimikrobiyal aktivitesi µg/ml (MİK değerleri).

Organizma	AgNP	Antibiyotik	Gümüş Nitrat
<i>S. aureus</i> ATCC29213	0.0382	0,5	0,5
<i>E. coli</i> ATCC25922	0.1530	0,125	1
<i>C. albicans</i>	0.0191	0,5	0,5

## Kaynaklar

- Alsammarraie, F. K., Wang, W., Zhou, P., Mustapha, A., ve Lin, M. (2018) "Green synthesis of silver nanoparticles using turmeric extracts and investigation of their antibacterial activities", *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, 171, 398-405.
- Al-ogaidi, I., Salman, M. I., Mohammad, F I., Aguilar, Z., Al-ogaidi, M., Hadi, Y.A., Al-rhman ve R. M A. (2017) "Antibacterial and Cytotoxicity of Silver Nanoparticles Synthesized in Green and Black Tea", c. 5, sayı 1, ss. 39-45,
- Azarang M., A. Shuhaimi, Yousefi, R., Golsheikh, A. M. ve Sookhakian, M. (2014) "Synthesis and characterization of ZnO NPs/reduced graphene oxide nanocomposite prepared in gelatin medium as highly efficient photo-degradation of MB", *Ceram. Int.*, c. 40, sayı 7 part B, ss. 10217-10221,
- Bhat M. A., Nayak, B. K. ve Nanda, A. "Evaluation of Bactericidal Activity of

## Sonuç ve öneriler

Nanopartiküllerin çevre dostu sentez yöntemleri her geçen gün daha fazla ilgi görmektedir. Sentez de toksik kimyasallar içermemesi, üretimlerinin daha ucuz ve kolay olması biyolojik yöntemle sentezin büyük avantaj sağlamaktadır. Bizde bu durumları göz önüne alarak kiraz bitkisinin yapraklarından faydalandık ve ortalama 39.37 nm boyutlarda küresel biçimli AgNP'ler sentezledik. Elde edilen AgNP 'leri SEM/EDX, XRD, TGA-DTA, UV-vis ve FT-IR cihazlarıyla karakterize edildi. Sentezlenen nano partiküllerin antimikrobiyal etkisinin (MİK metodu ile) olduğunu gözlemledik. Bu çalışmada sentezlenen nanopartiküller, daha fazla geliştirilip medikal sanayide ve gıdaların daha uzun ömürlü olarak saklanması açısından antimikrobiyal etkisi ile katkı sağlayacaktır.

Biologically Synthesised Silver Nanoparticles from *Candida albicans* in Combination with Ciprofloxacin", *Mater. Today Proc.*, c. 2, sayı 9, ss. 4395-4401,

- Board R., (2014)"International Journal of Modern Engineering", c. 4, sayı 4, ss. 306-308,
- Francis S., Joseph, S., Koshy, E. P. ve Mathew, B. (2017) "Green synthesis and characterization of gold and silver nanoparticles using *Mussaenda glabrata* leaf extract and their environmental applications to dye degradation", *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24:17347-17357.
- Fernandez, J. G., Fernandez-Baldo, A.M., Berni, E., Cami, G., Duran, N., Raba, J. and Sanz, M. I. (2016) "Production of silver nanoparticles using yeasts and evaluation of their antifungal activity against phyto pathogenic fungi", *Process Biochem.*, c. 51, sayı 9, ss. 1306-1313,
- Geethalakshmi R. ve Sarada, D. V. L. (2010) "23 Synthesis of plant-mediated

- silver nanoparticles using *Trianthema decandra* extract and evaluation of their anti microbial activities”, *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, c. 2, sayı 5, ss. 970–975,
- Gopinath, K., Devi, N. P., Govindarajan, M., Bhagyaraj, K., Kumaraguru, S., Arumugam, A., Alharbi, N. S., Kadaikunnan, S and Benelli, G. (2017). “One-Pot Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using the Orchid Leaf Extracts of *Anoectochilus elatus*: Growth Inhibition Activity on Seven Microbial Pathogens”, *J. Clust. Sci.*, c. 28, sayı 3, ss. 1541–1550,
- Latha D., S. Sampurnam, C. Arulvasu, P. Prabu, Govindaraju, K. ve Narayanan, V. (2018). “Biosynthesis and characterization of gold nanoparticle from *Justicia adhatoda* and its catalytic activity”, *Mater. Today Proc.*, c. 5, sayı 2, ss. 8968–8972,
- Nanda A., Nayak, B. K. ve Krishnamoorthy, M. (2018) “Antimicrobial properties of biogenic silver nanoparticles synthesized from phylloplane fungus, *Aspergillus tamarii*”, *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, c. 16, sayı August, ss. 225–228,
- Pallela P. N. V. K., Ummey, S., Ruddaraju, L. K., Pammi, S. V. N. ve Yoon. S. G. (2018) “Ultra Small, mono dispersed green synthesized silver nanoparticles using aqueous extract of *Sida cordifolia* plant and investigation of antibacterial activity”, *Microb. Pathog.*, c. 124, sayı December 2017, ss. 63–69,
- Patil, M. P., Singh, R. D., Koli, P. B., Patil, K.T., Jagdale, B. S., Tipare, A. R. and Kim, G. D. (2018) “Antibacterial potential of silver nanoparticles synthesized using *Madhuca longifolia* flower extract as a green resource”, *Microb. Pathog.*,
- Premkumar J., Sudhakar, T., Dhakal, A., Shrestha, J. B., Krishnakumar, S. ve Balashanmugam, P. “Synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) from cinnamon against bacterial pathogens (2018).”, *Biocatal. Agric. Biotechnol.*,
- Saravanakumar K., Chelliah, R., Shanmugam, S., Varukattu, N. B., Oh, D.V., Kandasamy, K. and Wang, M. Y. (2018) “Green synthesis and characterization of biologically active nanosilver from seed extract of *Gardenia jasminoides* Ellis”, *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*, 185 : 126–135
- Sreekanth T. V. M., Jung, M.-J. ve Eom. I.-Y. (2016) “Green synthesis of silver nanoparticles, decorated on graphene oxide nano sheets and their catalytic activity”, *Appl. Surf. Sci.*, 361:102–106.
- Vishnukumar P., Vivekanandhan, S., Misra, M. ve Mohanty A. K. (2018) “Recent advances and emerging opportunities in phytochemical synthesis of ZnO nanostructures”, *Mater. Sci. Semicond. Process.*, c. 80, sayı October 2017, ss. 143–161,
- Yousefi R., Zak, A. K., Sheini, F. J., Huang, N. M., Basirun, W. J. ve Sookhakian, M. (2014) “Synthesis and characterization of single crystal PbO nanoparticles in a gelatin medium”, *Ceram. Int.*, c. 40, sayı 8 PART A, ss. 11699–11703,
- Wang M., Zhang, W., Zheng, X. ve Zhu, P. (2017) “Antibacterial and catalytic activities of biosynthesized silver nanoparticles prepared by using an aqueous extract of green coffee bean as a reducing agent”, *RSC Adv.*, c. 7, sayı 20, ss. 12144–12149,

## Synthesis, characterization and antimicrobial applications of silver nanoparticles (AgNPs) with cherry (*Prunus avium*) leaf

### Extended abstract

In this study, AgNPs were successfully synthesized by using eco-friendly synthesis method from the biological source (*Prunus avium* leaf extract). Ultraviolet /visible light absorption spectrophotometer (UV-vis), X-ray diffraction (XRD) thermogravimetric and differential thermal analysis (TGA-DTA), Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) scanning electron microscopy (SEM) and energy distribution. particles (EDAX) were characterized by particulates. The antimicrobial effect of these particles on microorganisms was investigated and it was determined that they had inhibitory effect on their reproduction. The UV-vis spectroscopy and X-ray analyses confirmed the formation of AgNPs. The formation of silver nanoparticles changes the color of the solution from yellow to brown by the formation of vibrations on the surface of the plasma, which indicates the formation of nanoparticles

The biogenic AgNPs showed the strong absorbance at 427 nm with surface plasmon resonance, and the average size of the AgNPs was estimated to be 39 nm when prepared at room temperature.

The average particle size was determined by using the Debye-Scherrer formula. Morphological structure of synthesized AgNPs and size of nanoparticles. It is

illuminated by SEM images. Images of the AgNPs were evaluated on SEM images and were found to be in global view. With the *Trianthema decandra* extract, the particles are seen to have an average of 15 nm. It gives information about degradation of nanoparticles in TGA-DTA data.

FT-IR spectroscopy analysis Hydroxyl and primary amide band were found to be the main functional groups involved in the reduction. The antibacterial activities of AgNPs against *S. aureus* (ATCC 25923) and *E. coli* (ATCC 25922) were analyzed by disc MIC method.

They were found to be moderately stable and had good antibacterial properties against Gram-positive Gram-negative as well as fungus microorganisms. A predetermined amount of silver nitrate solution (0.01 M) was added to freshly prepared *Prunus avium* extract solution containing 0.05 g grape seed extract in the total volume of the reaction solution of 100 mL. Nanotechnology In the pharmaceutical industry several applications including food packaging materials, personal care products It is used. Recently, the irregular use of antibiotics against microorganisms has caused these organisms to develop resistance. This situation causes the effects of the drugs used commercially to be weak or insufficient. Silver nanoparticles obtained by environmentally friendly synthesis can play a key role in the search for alternative antimicrobial agents. The antimicrobial activity of AgNPs obtained in the study was evaluated and they showed strong activity.

**Keywords:** Silver nanoparticle, SEM, XRD.



## Taguchi Yöntemi Kullanılarak Aladağ (Adana) Krom Cevherinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması

**Tuğba TABAZIK**

Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır  
[16807002@ogr.dicle.edu.tr](mailto:16807002@ogr.dicle.edu.tr), [tabazik1988@gmail.com](mailto:tabazik1988@gmail.com) ORCID: 0000-0002-1326-3710

**Fatma Deniz ÖZTÜRK\***

Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır  
[deniz.ozturk@dicle.edu.tr](mailto:deniz.ozturk@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0002-3753-7173

Geliş: 11.01.2019, Kabul Tarihi: 19.02.2019

### Öz

Krom yaşantımızın birçok alanında yaygın kullanımı olan ve ülkemizde büyük rezerve sahip olan bir mineraldir. Krom serbestleşme tane iriliğine bağlı olarak farklı zenginleştirme yöntemleri ile zenginleştirilebilir. En yaygın zenginleştirme yöntemi, gravite zenginleştirme yöntemlerinden sarsıntılı masa ile zenginleştirilmez. Bu çalışmada; ilk olarak kırma, öğütme ve elek analizleri yapılarak, mineralin serbestleşme tane iriliği tespit edilmiştir. Buna takiben, zenginleştirme yöntemi gravite yöntemi ile zenginleştirme yöntemlerinden sarsıntılı masa olarak belirlenmiş ve bu yöntemle ilgili parametre tespiti yapılmıştır. Sarsıntılı masa için; eğim, genlik, hız ve tane iriliği incelenmiştir. Bu deneyler, istatistiksel bir yöntem olan taguchi metodu kullanılarak yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen bu bulgular ANOVA varyans analizleri ile değerlendirilmiştir. Krom tenörü üzerinde en çok etkiye sahip olan parametre %72,29 oranla tane iriliği olarak belirlenmiştir. Ayrıca, parametreler için optimum seviyeler sırası ile tane iriliği için +0,2 mm, eğim için 2 derece, genlik için 8 mm ve hız için 400 devir/dk olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** krom, zenginleştirme, taguchi yöntemi

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Krom; dünya genelinde bakır, demir ve alüminyum ile birlikte sanayide en çok kullanılan önemli metallere aittir. Krom dünyada ve ülkemizde büyük rezervler halinde bulunmakta ve her yıl önemli miktarlarda krom üretimi gerçekleştirilmektedir. Krom sanayide yaygın kullanım alanına sahiptir ve bunlar; metalürji, refrakter ve kimya sanayidir. Ancak, maden ocağından çıkartılan krom cevherleri, sanayinin istediği koşulları çoğunlukla, ocaktan çıktığı haliyle sağlayamamaktadır. Dolayısıyla, ocaktan çıkartılan krom cevherlerinin sanayinin istediği özelliklere getirilmesi ve satılabilir konsantre haline gelmesi ancak uygun zenginleştirme işlemleri ile gerçekleştirilmektedir. Cevherlerin zenginleştirilmesinde en önemli kriter mineralin serbestleşme tane iriliğinin belirlenmesidir ve daha sonra yan kayaçların özellikleri de belirlenerek yöntem seçimi yapılır. Bazen mineralin özelliğine bağlı olarak birkaç yöntemin kombinasyonu şeklinde uygulamalar da yapılmaktadır (Deniz, 1992; Aydın, 2001; Er, 2011; Öztürk ve ark., 2014; Öztürk ve ark., 2016).

Gravite yöntemleri (jig, sallantılı masa, spiraller, oluklar vs) ekonomik değeri olan mineral ile ekonomik değeri olmayan minerallerin arasındaki yoğunluk farkına bağlı olarak akışkan ortamda (ortam çoğunlukla su) değerli minerali değersiz minerallerden ayırmak için uygulanan bir yöntemdir ve ülkemizde krom mineralini zenginleştirmek için yaygın olarak kullanılan yöntemler arasındadır (Çilingir, 1996; Er, 2011). Ayrıca elle ayıklama gravite yöntemlerinde tane boyutu açısından sınırlayıcı olmakta, ve bu yüzden bu yöntemler sadece parça cevherler ve iri boyutlu tanelerin serbestleşmesi durumunda minerallere uygulama alanı bulabilmektedir. İri tanede serbestleşen bu tip cevherler günümüzde yok denecek kadar az olması nedeni ile klasik gravite yöntemleri ile mineralleri zenginleştirme alanları da azalmaktadır (Er, 2011).

Türkiye’de bol miktarda bulunan peridotlar krom yataklarının içinde bulunan ultrabazik kayaçlardır. Ofiyolit grubuna ait olan peridotitler, Alp orojen kuşağı boyunca

bulunmaktadırlar. Alpin tip krom yataklarının karmaşık yapıları, doku özellikleri ve küçük boyutlu yapıları, belirgin özellikleri arasındadır. Alpin tip krom yataklarında kromitin  $Cr_2O_3$  tenörü stratiform tiptekilere göre daha geniş bir aralıkta fazla değişiklik göstermemektedir. Ülkemizde mevcut krom yatakları belirgin bir dağılım göstermemekte olup ultrabazik kayaçlar içinde yer almaktadır (Ağaçayak, 2004).

Dünya genelinde kromun en yaygın kullanımı, paslanmaz çelik üretiminin yapıldığı metalürji sanayi ve daha az kullanımı olan ise kimya ve refrakter sanayidir. Ticari olarak kullanılan krom ise tüvenan konsantre kromun işlenmesiyle elde edilen ferrokromdur (Papp, 1994; Hacıoğlu, 2010).

Kromit, metal ve kimyasal maddeler için ve refrakterlerde kullanım için ana kaynaktır. Bazı fiziksel ve kimyasal özelliklere dayanarak, cevher olarak farklı kullanıcılar için sınıflandırılır. Dünya üzerinde bulunan krom yatakları ve zenginleştirme yöntemleri bazı araştırmacılar tarafından konu edinilmiştir (Kumar ve ark. 2009; Murthy ve ark., 2011; Tripathy ve ark., 2013; Panda ve ark., 2014; Öztürk ve ark., 2014; Öztürk ve ark., 2016; Tripathy ve ark., 2016)

Deneysel çalışmalarda istatistiksel yöntemlerin kullanılması, deneysel çalışmalarda yapılan hataların azaltılması ve çalışma sürekliliği sağlanması açısından önemlidir (Ayhan, 1996; Ayhan, 2003). Taguchi metodu mühendislik analizlerinde yaygın olarak kullanılmakta olan ve güçlü bir yöntemdir. Bu yöntem, ortogonal dizileri kullanarak test sayısını önemli ölçüde azaltır ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini en aza indirir. Ayrıca, imalat sürecinde optimum kesme parametrelerini belirlemek için basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sağlar (Palanikumar, 2011).

Krom yatakları, çok düşük tenörlü cevherlerden oluşabildikleri gibi yüksek tenörlü cevherlerde olabilmektedir.  $Cr_2O_3$  içeriği %40’ın altında olan cevherler düşük kalite, %40-46 arasında olanlar, 2. kalite ve %46’nın üzerinde olanlar 1. kalite



olarak tanımlanmaktadır. Yüksek tenörlü cevherler zenginleştirilmeden sanayide yer bulabilmektedir. Ancak düşük tenörlü cevherler özgül ağırlığa bağlı (sarsıntılı masa, jig, humphrey spiral vs.), magnetic seperation ve flotation method gibi yöntemlerle zenginleştirilmektedir. En çok kullanılan yöntem ise mineraller arasındaki yoğunluk farkından dolayı iyi sonuç veren sarsıntılı masadır. Bu çalışmada Adana-Aladağ cevherininin taguchi ortgonal deney tasarımına göre sarsıntılı masa deneyleri yapılarak anova analizi ile sonuçların değerlendirilmesi yapılması amaçlanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### Materyal

Deneylerde kullanılan krom, Adana-Aladağ' dan temin edilmiştir. Temsili şekilde alınan krom örneği laboratuvar tipi çeneli kırıcı kullanılarak kırılmıştır. Daha sonra çubuklu değirmen ile öğütülerek uygun tane boyutuna getirilmiş ve elek analizleri yapılmıştır. Tane irilik dağılımlarını belirlemek için yapılan elek analizlerinde 0.850 mm, 0.600 mm, 0.500 mm, 0.425 mm, 0.300 mm, 0.212 mm, 0.1 mm, 0.075 mm elek açıklıklarında elekler kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Aladağ krom cevherininin elek dağılımı

ELEK (MM)	AĞIRLIK (%)	CR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	DAĞILIM (%)
+0,850	16,55	15,95	14,60
-0,8+0,6	18,24	18,37	18,53
-0,6+0,5	4,22	20,57	4,80
-0,5+0,425	4,52	21,07	5,27
-0,425+0,3	3,51	22,85	4,44
-0,3+0,212	14,06	22,86	17,77
-0,212+0,1	16,51	19,05	17,39
-0,1+0,075	20,08	14,05	15,60
-0,075+0,0	2,30	12,64	1,61
<b>TOPLAM</b>	<b>100</b>	<b>18.0841</b>	<b>100</b>

Elek analizleri sonrasında, numuneler mikroskopta incelenmiş,

- + 0.850 – 0.600 mm elek fraksiyonunda bütün tanelerin bağlı, serbest tanelerin olmadığı gözlemlenmiştir.

- + 0.500 mm elek fraksiyonunda bazı kuvars tanelerinde serbestlik söz konusu olduğu halde, krom taneciklerinin serbest olmadığı gözlemlenmiştir.
- + 0.425 mm elek fraksiyonunda %30 civarında kuvars taneciklerinin serbest olduğu, krom taneciklerinde ise serbestliğinin çok az olduğu gözlemlenmiştir.
- + 0.300 mm elek fraksiyonunda %50 civarında kuvars taneciklerinin serbest olduğu ve çok miktarda da serbest krom tanelerin varlığı gözlemlenmiştir.
- + 0.200 mm elek fraksiyonunda %80-90 oranında serbestlik olduğu gözlemlenmiştir.
- + 0.1 mm ve + 0.075 mm elek fraksiyonlarında ise tamamen serbest kuvars ve krom tanecikleri gözlemlenmiştir.

### Yöntem

Serbestleşme boyutuna bağlı olarak sallantılı masada kullanılmak üzere hazırlanan numuneler (+0,2 ve +0,1) 1000 gram şeklinde sınıflandırıldıktan sonra, numune azaltma yöntemleri ile azaltılarak poşetlenmiştir. Bu örnekler laboratuvar tipi Wilfley sallantılı masa da eğim (2-3°), genlik (7-8 mm), hız (350-400 d/d), tane iriliği (+0,1 ve +0,2 mm) olacak şekilde testlere tabi tutulmuştur. Bu parametrelerin sallantılı masaya etkisini belirlemek için taguchi yöntemi kullanılarak etkili parametreler belirlenmiş, her bir değer için minimum ve maksimum değerler belirlenerek 24 deney yapılmıştır.

### Deneylerin Tasarımı

Taguchi yöntemi, Dr. Taguchi tarafından geliştirilen en az deney yapma esasına dayalı bir yöntemdir (Ay ve ark., 2010). Bu çalışmada 4 parametre 2 seviye kullanılmıştır. Önemli parametreler A (eğim), B (genlik), C (hız), D (tane iriliği). Her bir etmenin iki seviyesi bulunmaktadır (Tablo 2). Bu parametreler zenginleştirme işleminde önemli olan başlıca parametrelerdir. Bu parametrelere göre L8 ortogonal dizisi seçilmiş ve tasarıma göre

düzenlenen deney tasarım tablosu Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 2. Kontrol edilebilen faktörler ve seviyeleri

FAKTÖR NO	SEMBOLLER	FAKTÖRLER	SEVİYE 1	SEVİYE 2
1	A	EĞİM (DERECE)	2	3
2	B	GENLİK (MM)	7	8
3	C	HIZ (DEVİR/DK)	350	400
4	D	TANE İRİLİĞİ (MM)	+0,1	+0,2

Tablo 3. Taguchi’ye göre hazırlanan deney tasarımı

Deney No	Eğim (derece)	Genlik (mm)	Hız (Devir/dk)	Tane İriliği (mm)
1	2	7	350	+0,1
2	2	7	400	+0,2
3	2	8	350	+0,2
4	2	8	400	+0,1
5	3	7	350	+0,2
6	3	7	400	+0,1
7	3	8	350	+0,1
8	3	8	400	+0,2

### Bulgular ve Tartışma

S/N, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) olan oranı olarak tanımlanmaktadır. Ölçülmek istenen gerçek değer sinyal değeri, ölçülen değer içerisindeki istenmeyen paya ise gürültü değeri denmektedir. Ayrıca, gürültü faktörleri, ürünün belirlenen hedeften sapmasına neden olan değişkenler olarak da bilinmektedir. Bu sebepten dolayı, gürültünün sistem üzerindeki etkisinin mümkün olduğunca azaltılması gerekmektedir. S/N oranı bulunurken, bazı kabuller yapılmaktadır. Bunlardan en popüler olanları, en küçük en iyi, nominal en iyi, en büyük en iyi kabulleridir. Bu üç tıp kabulde de asıl mantık, S/N oranını büyütürken, sinyalin artırılırken gürültüyü minimize etmektir. Böylece, S/N oranı artırılabilir (Kasman, 2009).

S: Standart sapma

N: Ortalama

Y: Gözlenmiş değer

n: Gözlem sayısı (bir denemedeki test sayısı)

#### • En Küçük – En İyi

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni Y’nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanmaktadır:

$$S/N = -10 \times \log\left(\sum \frac{Y^2}{n}\right) \quad (2.1)$$

S/N: en küçük değer en iyi durumu için sinyal/gürültü oranı

#### • En Büyük – En İyi

Bu durumda Y’nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/ gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$S/N = -10 \times \log\left(\sum \frac{1/Y^2}{n}\right) \quad (2.2)$$

S/N: en büyük değer en iyi durumu için sinyal/gürültü oranı

#### • Hedef Değer – En İyi

Bu tür problemlerde, Y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda;

$$S/N = -10 \times \log\left(\sum \frac{Y^2}{S^2}\right) \quad (2.3)$$

S/N: hedef değer en iyi durumu için sinyal/gürültü oranı

Her üç problemde de, amaç Sinyal/Gürültü oranını maksimize etmektir ( Taylan, 2009 ).

Hesaplanan S/N ve ortalama sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Ortalama ve S/N faktörlerinin her biri için seviye değerleri hesaplanarak maksimum ve minimum değerlerden etkin sıralar tayin edilmiştir (Tablo 5 ve Tablo 6). Taguchi

tasarımında en çok kullanılan S/N oranıdır. S/N oranının kullanılmasındaki temel amaç maksimize olan S/N gürültü oranını minimize etmektedir. Çeşitli S/N bulma oranları vardır. Bu deneyde S/N oranı en küçük en iyi olan formül (2.1) kullanılarak yapılmıştır. Bu sonuçlardan ortaya çıkan değerlerle ilgili bilgi verebilmek için varyans tablosu oluşturulmuştur (Tablo 7) ve (Tablo 8).

fazla olduğunu, küçük olması ise o faktörün etkisinin az olduğunu gösterir.

A (eğim) ve D (tane iriliği) faktörlerinin önemli olduğu gözlenmektedir. C (hız) faktörünün deneye olan etkisinin çok düşük olduğu ve seviye farklılıklarının çok fazla bir etki sağlamadığı söylenebilir (Tablo 5 ve Tablo 6).

### Parametre Seviyelerinin Hesaplanması

Tablo 5 ve Tablo 6 incelendiğinde seviyeler arasındaki farklılığın büyümesi etki derecesinin

Tablo 4. Deney sonuçlarına göre ortalama S/N değerleri (en küçük en iyi)

Deney No	Eğim (derece)	Genlik (mm)	Hız (devir/dk)	Tane İriliği (mm)	Ölçüm1	Ölçüm2	Ölçüm3	Ortalama	S/N
1	2	7	350	+0,1	46,86	48,98	48,01	47,95	-33,62
2	2	7	400	+0,2	51,85	50,80	52,24	51,63	-34,26
3	2	8	350	+0,2	52,47	51,12	52,80	52,13	-34,34
4	2	8	400	+0,1	49,24	49,52	48,16	48,97	-33,80
5	3	7	350	+0,2	52,34	49,26	51,22	50,93	-34,14
6	3	7	400	+0,1	44,20	47,11	44,97	45,42	-33,14
7	3	8	350	+0,1	44,92	47,80	45,79	46,17	-33,29
8	3	8	400	+0,2	52,40	53,32	52,99	52,90	-34,47

Tablo 5. Parametre Seviyelerinin ve Etkinlik Derecelerinin, Ortalama İstatistiğine Göre Hesaplanması

SEVİYELER	A(EĞİM)	B (GENLİK)	C(HIZ)	D(TANE İRİLİĞİ)
1	50,17	48,98	49,29	47,13
2	48,85	50,04	49,73	51,90
DELTA(MAX-MİN)	1,32	1,06	0,44	4,77
SIRALAMA	2	3	4	1

Tablo 6. Parametre Seviyelerinin S/N İstatistiğine Göre Hesaplanış Tablosu

SEVİYELER	A(EĞİM)	B(GENLİK)	C(HIZ)	D(TANE İRİLİĞİ)
1	-34	-33,79	-33,85	-33,46
2	-33,76	-33,97	-33,92	-34,30
DELTA(MAX-MİN)	-0,24	-0,18	-0,007	-0,84
SIRALAMA	2	3	4	1

Tablo 7. Ortalama Değerlerine Göre Elde Edilen Veriler İle Oluşturulan Varyans Analizi

Kolon	Faktör	Serbestlik Derecesi (f)	Kareler toplamı (s)	Varyans (V)	Hesaplanan F değerleri	Düz kareler toplamı (S')	Katkı yüzdesi (P) (%)
1	A	1	10,34	10,34	6,19	8,67	4,65
2	B	1	6,73	6,73	4,03	5,06	2,71
3	C	1	1,15	1,15	0,69	-0,52	-0,28
4	D	1	136,47	136,47	81,72	134,8	72,29
Diğer/e		19	31,77	1,67	1	38,45	20,62
Toplam		23	186,46				100

**Varyans Analizi**

Varyans analizi sonuçların güven düzeylerini belirlemek için yapılmaktadır. Sonuçlardaki değişkenliği en aza indirmek için her iki durumunda varyans tabloları oluşturulmuştur (Tablo 7 ve Tablo 8).

Varyans analizi sonucunda ulaşılan veriler toplu olarak Tablo 7 ve Tablo 8’ de gösterilmiştir. Tablodaki bu veriler yardımıyla zenginleştirme gerçekleştirilirken hangi faktörlerin ve bu faktörlerin etkilerinin yüzde olarak hangi miktarda olduğu belirlenmiştir. Etkili faktörler F testiyle, bu faktör etkilerinin yüzde miktarı ise katkı yüzdesi sütunundan ortaya konmuştur (F: faktör varyansının hata varyansına bölünmesiyle bulunur).

Tablo 7 de verilen varyans analizi sonucu incelendiğinde; en önemli faktörün %72,29 ile tane iriliği olduğu bunu %4,65 ile eğim ve %2,71 ile genlik izlemektedir. Ortalama istatistiğine göre varyans analizi değerlerine bakıldığında C(hız) hariç diğer parametrelerin güven aralığına bakılır. Faktör etkisi açısından % 95 güven aralığı tercih edilmiştir. F(1,19) için % 95 güven seviyesinde F tablosundaki değer 4,38 olarak bulunur. Varyans analizi tablosunda F değerleri ile karşılaştırılınca 4,38 den büyük olan F değerleri anlamlı olarak alınır. Böylelikle A ve D faktörleri anlamlı olur.

% 95 güven seviyesinde anlamlı bulunan A ve D faktörlerinin katkı yüzdeleri % 4,65 ve % 72,29 olarak belirlenmiştir. Kontrol edilemeyen

faktörlerden kaynaklanan hata ise % 20,62 olarak belirlenir.

Yapılan S/N varyans analizi sonucunda elde edilen verilerin tamamı Tablo 8 gösterilmiştir. Bu veriler yardımıyla zenginleştirme gerçekleştirilirken hangi faktörlerin ve bu faktör etkilerinin yüzde miktarı ise çizelgedeki katkı yüzdesi sütunundan ortaya konulmuştur.

Tablo 8 de verilen varyans analizi sonucu incelendiğinde; en önemli faktörün %80,59 ile tane iriliği olduğu bunu %4,71 ile eğim ve %1,18 ile genlik izlemektedir.

S/N istatistiğine göre varyans analizi değerlerine bakıldığında C (hız) hariç diğer parametrelerin güven aralığına bakılır.

Faktör etkisi açısından % 95 güven aralığı tercih edilmiştir.

F(1,3) için % 95 güven seviyesinde F tablosundaki değer 10,13 olarak bulunur. Varyans analizi tablosunda F değerleri ile karşılaştırılınca 10,13 den büyük olan F değerleri anlamlı olarak alınır. Böylelikle D faktörü anlamlı olur.

% 95 güven seviyesinde anlamlı bulunan D faktörünün katkı yüzdesi % 80,59 olarak belirlenmiştir. Kontrol edilemeyen faktörlerden kaynaklanan hata ise % 15,88 olarak belirlenir.

Herhangi bir faktörün yüzde dağılımı (P), o faktörün karelerinin toplamının tüm faktörlerin karelerinin toplamına oranı ile elde edilir (Tanyıldızı ve Çoşkun,2013).

Tablo 8. S/N Değerlerine Göre Elde Edilen Veriler İle Oluşturulan Varyans Analizi

Kolon	Faktör	Serbestlik Derecesi (f)	Kareler toplamı (s)	Varyans (V)	Hesaplanan F değerleri	Düz kareler toplamı (S')	Katki yüzdesi (P) (%)
1	A	1	0,12	0,12	3	0,08	4,71
2	B	1	0,06	0,06	1,5	0,02	1,18
3	C	1	0	0	0	-0,04	-2,35
4	D	1	1,41	1,41	35,25	1,37	80,59
Diğer/e		3	0,11	0,04	1	0,27	15,88
Toplam		7	1,7				100

## Sonuçlar ve Tartışma

İşletmelerin artan rekabet ortamında kısa zamanda düşük maliyetlerle var olmalarını sağlayacak yöntemler arayışına girmesi sonucu taguchi yöntemi deneylerde kullanılacak bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Bu araştırmada da kromun sallantılı masa ile zenginleştirme işleminde belirlenen parametrelerin taguchi deneysel düzeneği ile yapılarak her bir parametrenin % Cr etkisi araştırılmış ve varyans tabloları oluşturulmuştur. Taguchi yöntemi ile oluşturulan varyans tablolarında en az etkili faktörün C (hız) olduğu tespit edilmiştir.

Aynı şartlarda S/N sonuçlarına göre % 95 güven düzeyinde D (tane iriliği) faktörünün sonuçlar üzerinde en etkili olduğu görülmektedir. Sonuçlar üzerindeki değişkenliği en aza indirmek temel amaç olduğundan, ortalama istatistiğine göre yapılan varyans analizinde de % 95 güven aralığına bakılmış ve A (eğim) ve D (tane iriliği) faktörlerinin etkili olduğu görülmüştür. Böylelikle değişkenliği etkileyen en önemli faktörün D (tane iriliği) olduğu tespit edilmiştir. Her iki durumda da kromun sallantılı masa ile zenginleştirme işleminde istenilen tüm avantajları verebilmesi açısından temel etkenin tane iriliği olduğu, seçim yaparken buna dikkat etmenin büyük getiri sağlayacağı belirlenmiştir. Hız bu aşamada en az etki sağlamıştır.

## Teşekkür

Bu çalışma Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü "MÜHENDİSLİK.17.012" projesi kapsamında desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- Ayhan, F.D., (1996). Kompleks Bakır Cevherlerinin Optimal Flotasyon Şartlarının Tesbiti, Yüksek Lisans Tezi, 88s
- Aydın, M.E., (2001). Etibank Guleman Kef konsantratör tesisi kromit artıklarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Ayhan, F.D., (2003). Investigation of Processing Conditions of Bitlis Kyanite Ores, PhD Thesis, 159
- Ağaçayak, T., (2004). Topraktepe (Yeşildağ-Beyşehir-Konya) kromitlerinin zenginleştirme yöntemlerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ay, M., Turhan A., (2010). Investigation Of The Effect Of Cutting Parameters On The Geometric Tolerances And Surface Roughness In Turning Operation, Electronic Journal of Machine Technologies, (7) 55-67,
- Canyılmaz, E., Kutay, F., (2003). Taguchi metodunda varyans analizine alternatif bir yaklaşım. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18 (3), 51-63.
- Çilingir, Y., (1996). Metalik cevherler ve zenginleştirme yöntemleri (2.Baskı), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İzmir.
- Çömlekçi, N., (2003). Deney tasarımı ilke ve teknikleri, Alfa Yayınları Ders Kitapları, 468s.
- Deniz, V., (1992). Burdur Yeşilova kromitlerinin zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Er, B., (2011). Multi gravite cihazlarının krom cevheri zenginleştirmesindeki etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Hacıoğlu, S., (2010). Kayseri Pınarbaşı kromitlerinin kuru zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kumar, C.G., Tripathy, S., Rao, D.S., (2009). Characterisation and pre-concentration of chromite values from plant tailings using floatex density seperator, Journal of Minerals& Materials Characterization& Engineering, Vol. 8, No:5, 367-378.
- Kasman, Ş., (2009). Lazer Mikro İşleme Parametrelerinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Deney Tasarım Yöntemiyle Belirlenmesi.5. Uluslar. İleri Tek. Sem. (IATS'09), Karabük, Türkiye.
- Murthy, Y.R., Tripathy, S.K., Kumar, C.R., (2011). Chrome ore beneficiation challenges & opportunities – A reiew, Minerals Engineering, 24, 375-380.
- F.D.Öztürk, H.A.Temel, 2016. Beneficiation of Konya-Beyşehir chromite for producing concentrates suitable for industry, JOM, Vol. 68, No. 9, 2449-2454
- F.D.Öztürk, H.A.Temel,2014. Enrichment of Bingöl (Yedisu), Diyarbakır (Hani and Ergani) and Elazığ (Alacakaya) Chromite, Mühendislik Dergisi, Cilt 5, Sayı 2, 81-88.
- Papp, J. F., (1994). Chromium life cycle study, U. S. Bureau of Mines Information Circular 9411, 94, U.S.
- Palanikumar, K., (2011). Experimental investigation and optimisation in drilling of GERP composites, Measurement, 44, 2138-2148.
- Panda, L., Banerjee, P.K., Biswall, S.K., Venugopal, R., Mandre, N.R., (2014). Modelling and optimization of process parameters for beneficiation of ultrafine chromite particles by selective flocculation, Separation and Purification Technology, 132, 666-673.
- Taylan, D., (2009). Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Tripathy, S.K., Murthy, Y.R., Singh, V., (2013). Characterisation and separation studies of Indian chromite beneficiation plant tailing, International Journal of Mineral Processing, 122, 47-53.
- Tanyıldızı, H., Çoşkun, A., (2013). Varyans (ANOVA) analizi yöntemi ile silis dumanı katkılı hafif betonun mekanik özelliklerine deney parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 29 (3), 227-233.
- Ucun, İ., Gökçe, B., Eken, M.S., Aslantaş, K., Büyüksağış, İ.S., Taşgetiren, S., (2015). Elmas kesici diskler ile doğal taşların kesilmesi işleminde optimum kesme parametrelerinin Taguchi yöntemi ile belirlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 6-16.
- Yıldırım, S., (2011). Ürün Tasarımı Geliştirilmesi: Taguchi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara.

## The Investigation for Beneficiation of Aladağ (Adana) Chromite by using Taguchi Method

### Extended abstract

Chromite is a widely used mineral which Turkey has a high amount of reserve capacity. Chromite mineral cannot be utilized for the industry since the size of the mineral is not suited enough. Therefore, mineral should be treated after extracting from its deposits. Different techniques are being applied in beneficiation of chromite regarding the rate of linearization and particle size. The shaking table is one of the most common beneficiation methods for ore chromite. In this study, the shaking table technique was integrated as an experimental process of study.

The chromite samples were provided from Adana, Aladağ province. Before starting the experimental stage of the study, the chromite mineral was exposed to grinding and crushing treatments. Samples were fabricated by using laboratory type jaw crushers. To understand the particle size of samples, sieve analysis was performed by using the series of 0.600mm, 0.500 mm, 0.425 mm, 0.300 mm, 0.212 mm, 0.1 mm, 0.075 mm sieves. Then, the square technique was utilized to obtain representative samples for implementing chemical analysis as well as observing them in microscopic scales. The working principle of shaking table method relies on the differentiation in specific weight of materials.

In the experiments, Wilfley type shaking table was operated. Four different parameters were taken into consideration. These can be listed with their level as the slope (2-3), amplitude (7-8), the frequency of shaking table (350-400) and particle size (+0.1 and +0.2). Then, the orthogonal series was formed with respect to the level of parameters.

Taguchi method is a useful technique for obtaining the best combination of parameters with their levels. Taguchi simplifies the process of experiments by reducing the size of parameter combinations obtained from orthogonal series considerably.

After ascertaining the parameters, the appropriate experimental design, i.e. the orthogonal series was selected (Table 3). Factors and interactions were

written to the columns and the obtained results from analysis took place in the columns. Observation values, standard deviation and mean values were taken into account in finding the results of the analysis. The minimum and maximum values were determined for each value (Table 5 and Table 6) and the obtained tests were subjected to statistical procedures and the most effective parameter was determined (D). Variance table (Table 7) was created according to the average statistic and S / N statistic for the main decision and clarity of the number of variables (Table 8). F values obtained in the tables were compared with the F table values in order to determine the level of significance. According to the mean, A and D factors were meaningful and D was found as significant according to the variance of S / N.

As a result, the study showed the importance of using Taguchi analysis in experimental works because it enables professionals to make a profit in terms of time and money over the standard experimental methods. Moreover, the impact of identified shaking table parameters was investigated with the Taguchi method, and variance tables were formed. The confidence level of variance analysis was used as 95%. These statistics stated that the least significant parameter of shaking table was determined as stroke frequency. Moreover, the most significant parameters were found as particle size as a result of analysis as well.

**Keywords:** chromite, mineral beneficiation, taguchi method



## Eşik yapısı mansabında oluşan yerel oyulmaların hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile analizi

**M. Cihan AYDIN\***

Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis  
[mcaydin@gmail.com](mailto:mcaydin@gmail.com) ORCID: 0000-0002-5477-1033, Tel: (532) 676 86 78

**M. Emin EMİROĞLU**

Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ  
[memin.emiroglu@gmail.com](mailto:memin.emiroglu@gmail.com) ORCID: 0000-0002-3603-0274

**Ali Emre ULU**

Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis  
[aliemreulu@gmail.com](mailto:aliemreulu@gmail.com) ORCID: 0000-0001-7499-3891

**Erdinç İKİNCİOĞULLARI**

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl  
[eikinciogullari@bingol.edu.tr](mailto:eikinciogullari@bingol.edu.tr) ORCID: 0000-0003-2518-980X

Geliş: 13.02.2018, Kabul Tarihi: 21.03.2018

### Öz

Hidrolik yapıların mansabındaki yerel oyulma, su mühendisliğinin önemli problemlerindedir. Bu konuda geçmişten bugüne kadar birçok deneysel ve arazi çalışmaları yapılmış ve birçok ampirik eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitliklerin çoğu belirli koşullar altında farklı sonuçlar verebilmektedir. Bazı eşitlikler boyutlu büyüklükler cinsinden verilmekte olup bazılarında ise değişkenler ihmal edilebilmektedir. Eğimi yüksek akarsularda eğimi düşürmek ve akımları düzenlemek amacıyla akarsu tabanında yapay düşüler kullanılabilir. Bu gibi düşüler üzerindeki akım durumu, çoğu zaman serbest düşülü savak akımı şeklinde olmaktadır. Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojileri ve hesaplama yöntemleri sayesinde çok fazlı (sıvı-katı parçacık) gibi akışkan problemlerin sayısal olarak modellenmesi mümkün olabilmektedir. Akarsulardaki bir eşik yapısı mansabındaki su jetinin altında kohezyonsuz üniform kum yatakta meydana gelen yerel oyulmalar geçmişte yapılan deneysel bir çalışma ile incelenmiştir. Bu çalışmada ise bu deney dataları kullanılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) metoduyla sayısal analizler yapılmıştır. Çalışmada eşik yapısı altındaki oyulmaları tespit etmek için, Flow 3D yazılımıyla birlikte Sediment Oyulma Modeli (Sediment Scour Model) yöntem olarak kullanılmıştır. Elde edilen sayısal model sonuçların literatürdeki deneysel verilerle yeterince uyumlu olduğu görülmüştür. Oyulmanın zamana göre değişimi üstel olduğu gözlemlenmiş ve zamanla maksimum oyulma derinliğindeki değişim azalmış ve sonunda kararlı oyulma durumu gerçekleşmiştir. Kohezyonsuz taban malzemesinde oyulmanın büyük çoğunluğunun (yaklaşık %90'ı) ilk yarım saat içerisinde gerçekleştiği izlenmiştir

**Anahtar Kelimeler:** Eşik yapısı; Oyulma; Hareketli taban; HAD, Hidrolik yapılar;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar



## Giriş

Eğimi yüksek akarsularda eğimi düşürmek ve akımları düzenlemek amacıyla akarsu tabanında yapay düşüler kullanılabilir. Bu gibi düşüler üzerindeki akım durumu, çoğu zaman serbest düşülü savak akımı şeklinde olmaktadır. Bununla birlikte kanal tabanının veya kontrol yapısının oluşturduğu düşüler, mansap kısmındaki taban zemininde yerel oyulmalara neden olmaktadır. Akarsuyun enerjisinin önemli bir kısmı bu düşünün mansabındaki oyulma havuzdaki türbülanslı karışım sayesinde sönmelenmektedir. Böylece düşünün mansabındaki yatak malzemesi jet düşünün difüzyonu ile yatak malzemesindeki kararsızlık yüzünden önemli ölçüde oyulmaya maruz kalmaktadır (Dey ve Raikar, 2007). Serbest düşülü jetlerin mansabındaki yerel oyulma derinliklerini tahmin etmek için ilk ampirik eşitlik Schoklitsch (1932) tarafından verilmiştir. Daha sonra birçok araştırmacı düşü altındaki oyulma derinliğini tahmin etmek için farklı ampirik eşitlikler önermiştir (Mason ve Arumugam 1985; Bormann ve Julien, 1991). Yapılan çalışmaların çoğu küçük düşülü yapılar için yürütülmüştür. Genel olarak bir düşü, eğer rölatif düşü yüksekliği, yani düşü yüksekliği/kritik derinlik,  $(H/y_c) \leq 1$  ise, bu durum küçük düşü, değilse yüksek düşü olarak nitelendirilmektedir (Little ve Murphey, 1982). Chamani ve Beirami (2002), şev rejimi akımlar için düşülerde rölatif enerji kayıplarını tahmin etmek için ampirik bir eşitlik bulmuşlardır. Bormann ve Julien (1991), düzenlenen kontrol yapılarının mansabında meydana gelen oyulmaların da partikül stabilitesi ve jet difüzyonuna dayalı kontrol yapılarının eğimleri için maksimum denge oyulma derinliğinin bir eşitliğini önermiştir. Stein vd. (1993), mansap oyulma derinliğinin zamanla değişimini tahmin etmek için analitik bir metot geliştirmişlerdir. Denge oyulma derinliğinin %95'in altındaki oyulma derinlikleri için oyulma derinliği oranının, çok hızlı bir şekilde yükseldiğini rapor etmişlerdir. Yatak tabanının daldırma havuzu içerisinde oyulma işlevi Jia vd. (2001)

tarafından sayısal olarak modellenmiştir. Dey ve Raikar (2007) yüksek bir serbest jet düşüsü ( $(H/y_c) > 1$ ) altında üniform kum ve çakıl tabanlı yatak malzemesindeki oyulmaları deneysel olarak çalışmışlar ve çalışmalarının sonucunda; oyulma derinliği sediment boyutu ve kuyruk su derinliğindeki artışla azalırken, maksimum denge oyulma derinliğinin dane yoğunluğuna bağlı densimetrik Froude sayısıyla arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca yerel oyulmanın zamana bağlı değişimini de incelenmiş ve boyutsuz zaman ölçeğinin dane yoğunluğuna bağlı densimetrik Froude sayısındaki artışla azaldığını ifade edilmiştir.

Ghodsian vd. (2006) serbest su jeti düşüsü altındaki kuyruk suyu derinliğinin oyulma üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada, düşük su seviyelerinde kuyruk suyu seviyesinin artışıyla oyulma çukurunun boyutları da artarken, yüksek su seviyelerinde bu durumun tersi gözlemlenmiştir. Ayrıca oyulma derinliği için ampirik bir bağıntı sunmuşlardır. Ghodsian vd. (2012), yürüttükleri 80 adet deneysel çalışmaya dayalı olarak, serbest düşü jeti altındaki oyulma çukuru karakteristiklerinin densimetrik Froude sayısına, düşü yüksekliğinin kuyruk suyu derinliğine oranına, düşü yüksekliğinin jetin hidrolik yarıçapına oranına, sediment sayısına ve boyutsuz gelişme zamanına bağlı olduğunu göstermişlerdir.

Aydın ve Işık (2015) deneysel çalışmaların önemine atıf yaparak gelişmiş HAD yazılımlarının güncelliği, avantaj ve dezavantajlarını örnekler üzerinden açıklamıştır.

Bu çalışmada; Dey ve Raikar (2007) tarafından yapılan deneysel çalışma model alınarak bir eşik yapısı mansabında farklı dane çapındaki kohezyonsuz üniform kum tabanda meydana gelen oyulmalar, iki boyutlu (2B) Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yardımıyla elde edilmiştir. Sonuçlar Dey ve Raikar (2007) tarafından yapılan deneylerle karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

## Serbest Su Jetinin Hidrolik Karakteristikleri

Şekil 1’de görülen serbest düşülü bir su jeti üzerinde akışkanların temel eşitlikleri yazılarak akımın hidroliği belirlenebilir. Şekildeki “0” ve “C” kesitleri arasında süreklilik denklemi yazılırsa;

$$U_0 y_0 = U_c y_c \quad (1)$$

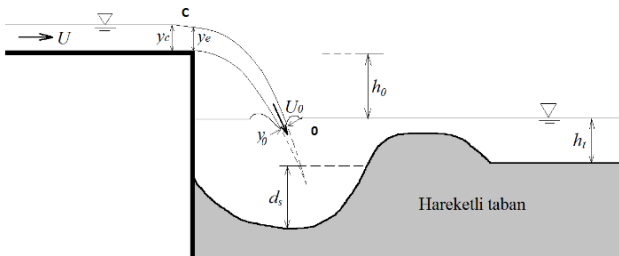
burada,  $U_c$  ve  $y_c$  sırasıyla su jetinin membasındaki kritik hız ve kritik derinlik,  $U_0$  ve  $y_0$  ise sırasıyla jetin kuyruk suyuna daldığı kesitteki giriş hızı ve jet kalınlığıdır. Kritik yükseklikte akım minimum enerjisini kullanacağından dikdörtgen kesitler için aşağıdaki Eşitlik (2) kullanılabilir:

$$H_{min} = y_c + \frac{U_c^2}{2g} = 1.5y_c \quad (2)$$

Bu eşitlik “0” ve “1” kesitleri arasında yazılan Enerji Denkleminde yerine yazılırsa ve  $C_0$  gibi deneysel bir katsayısı ile çarpılırsa aşağıdaki jetin dalma hızı bağıntısı elde edilir.

$$U_0 = C_0 \sqrt{2g(h_0 + 1.5y_c)} \quad (3)$$

buradaki  $h_0$  serbest düşü yüksekliğini ifade etmektedir. Dey ve Raikar (2007),  $C_0$  katsayısını 0.672 olarak vermişler ve ayrıca kritik derinlik ile eşik üzerindeki su derinliği arasında  $y_e = 0.715y_c$  bağıntısını önermişlerdir.



Şekil 1. Eşik yapısı altındaki oyulmanın şematik gösterimi

## Boyut Analizi

Literatürde serbest düşüler altındaki oyulma derinliğiyle ilgili birçok ampirik bağıntı sunulmuştur. Fakat bu bağıntıların çoğu belirli koşullar altında sunulmuş ve farklı sonuçlar verebilmektedir. Bazı bağıntıların boyutlu büyüklükler cinsinden verilmekte bazıları ise bazı değişkenler ihmal edilmektedir. Bu çalışmada Şekil 1’de verilen iki boyutlu bir serbest jet düşüsü altındaki yerel oyulmayı belirleyen en etkin parametreler literatürdeki bazı çalışmalara dayalı olarak boyut analizi sonucu elde edilmiştir.

Kuyruk suyunun üstündeki serbest jet düşüsü ile ilgili düşü yüksekliği ( $h_0$ ), su derinliği ( $h_c$ ) ve dolayısıyla özgül enerji ( $H_c$ ) gibi parametreler yukarıda verilen eşitliklerden  $U_0$  ve  $y_0$  ile ifade edilebileceğinden, Şekil 1’deki gibi hareketli taban oyulmasına etki eden parametreler aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$f(h_t, \rho, \rho_s, g, d_{50}, U_0, y_0) = 0 \quad (4)$$

Buckingham  $\pi$  teoremi uygulanarak yapılan boyut analizi sonucu elde edilen boyutsuz büyüklükler cinsinden oyulma derinliğine etki eden parametreler Dey ve Raikar (2007) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$\frac{d_s}{y_0} = f(\text{Fr}_d, \frac{h_t}{y_0}, \frac{d_s}{y_0}) \quad (5)$$

Eşitlik (5)’te verilen parametrelere ek olarak buradaki,  $d_s$  oyulma derinliği,  $h_t$  kuyruk suyu derinliği, boyutsuz  $\text{Fr}_d$  ise densimetrik Froude sayısı olup bazı yazarlar tarafından Eşitlik (6) ile tanımlanmıştır (Dey ve Raikar, 2005 ve 2007; Ghodsian vd., 2012):

$$\text{Fr}_d = \frac{U_0}{\sqrt{g d_{50}(s-1)}} \quad (6)$$

burada,  $g$ =yerçekimi ivmesi ( $\text{m/s}^2$ ),  $d_{50}$ =sedimentin medyan dane çapı (m),  $s$  sedimentin bağıl yoğunluğunu (-) ifade etmektedir.

## Kullanılan Yöntem

Çalışmada eşik yapısı altındaki oyulmalar, *Flow 3D* yazılımıyla birlikte Sediment Oyulma Modeli (*Sediment Scour Model*) kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu model ile dane boyutları, yoğunluğu, kritik kayma gerilmesi, şev açısı ve taşınım ve giriş parametreleri gibi farklı özellikler içeren çoklu kohezyonsuz sediment yığınlarının hareketi tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Bu model yardımıyla, sedimentin aşınma, adveksiyon ve yığılma olaylarını hesaplayarak sediment hareketi tahmin edilebilmektedir. Bu kestirim yapılırken askı maddesi taşınımı, yerçekimi dolayısıyla sediment çökmesini, türbülans ve yatak kaymalarından dolayı sediment girişlerini hesaplar. Sediment taşınımı askı ve taban sürüntü malzemesi şeklinde iki türlü gerçekleşmektedir. Sürüntü malzemesi belirlenen kritik sürüklenme gerilmesiyle (bu değer *Flow 3D*'de varsayılan olarak 0.64'tür) ayırt edilir (*Flow-3D*, 2014).

Her bir sediment danesinin akım dinamiğini hesaplamak mümkün olmadığından, sayısal hesaplamalarda ampirik bağıntılar kullanılmak zorunludur. Burada kullanılan model Mastbergen ve Van den Berg (2003) tarafından sunulan yöntemeye dayalıdır. Aynı zamanda kritik Shields sayısını belirlemek için Soulsby-Whitehouse (2007) denklemi kullanılabilir. Kritik Shields parametresini belirlemek için ilk adım aşağıdaki boyutsuz  $d_{*i}$  parametresini hesaplamaktır.

$$d_{*,i} = d_i \left[ \frac{\rho(\rho_s - \rho) \|g\|}{\mu^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

burada;  $d_i$  inci sedimentin çapını (m),  $\mu$  akışkanın dinamik viskozitesini (kg/m.s) ifade etmektedir. Bu değere bağlı olarak, boyutsuz kritik Shields parametresi Soulsby-Whitehouse (2007) denklemi kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\theta_i = \frac{0.3}{1 + 1.2d_{*,i}} + 0.055(1 - e^{-0.02d_{*,i}}) \quad (8)$$

Kritik Shields parametresi şev açısının eklenmesiyle aşağıdaki gibi revize edilebilir:

$$\theta'_i = \theta_i \frac{\cos\alpha \times \sin\beta + \sqrt{\cos^2\beta \times \tan^2\varphi - \sin^2\alpha \times \sin^2\beta}}{\tan\varphi} \quad (9)$$

burada  $\alpha$  akım ile yukarı eğim doğrultusu arasındaki açı ( $^\circ$ ),  $\beta$  yatak eğim açısı ( $^\circ$ ),  $\varphi$  sediment şev açısıdır (varsayılan olarak  $32^\circ$ ). Lokal Shields parametresi yerel yatak kayma gerilmesine ( $\tau'_{ya}$ ) bağlı olarak Eşitlik (10)'daki gibi verilmektedir:

$$\theta_i = \frac{\tau}{\|g\| d_i (\rho_s - \rho)} \quad (10)$$

Taban sürüntü maddesi taşınımı için Meyer, Peter ve Müller (1948) formülasyonu kullanılmıştır. Bu model taban malzemesi yüzeyindeki sedimentin birim debisini tahmin eder.

$$\Phi_i = \beta(\theta_i - \theta'_i)^{1.5} c_{b,i} \quad (11)$$

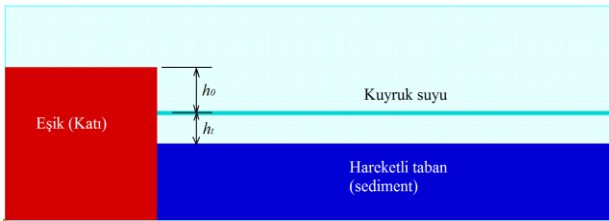
$\Phi_i$  boyutsuz sürüntü maddesi taşınım oranı,  $c_{b,i}$  sürüntü malzemesindeki  $i$  türün hacim oranıdır,  $\beta_i = 10.236$  (Van Rijn, 1984). Sediment taşınımının birim debisi ise  $\Phi_i$  parametresine bağlı olarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$q_{b,i} = \sqrt{\Phi_i \left[ \|g\| \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) d_i^3 \right]} \quad (12)$$

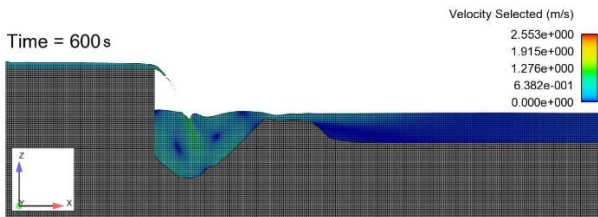
## Sayısal Model

Sayısal model *Flow 3D* ile hazırlanmış olup modelin geometrisi Şekil 2'de ve sonlu eleman ağı yapısı ve analiz sonucu örnek bir oyulma ve akım durumu Şekil 3'te verilmiştir. İki boyutlu yürütülen analizlerde 42000 adet yapılandırılmış hücre kullanılmıştır. Türbülans modeli olarak RNG (Renormalized Group) model kullanılmıştır. Bu model türbülans kinetik enerji ( $k$ ) ve türbülans yayılma oranı ( $\varepsilon$ ) gibi türbülans parametreleri için ortalamalı denklemlerin türetiminde istatistiksel yöntemler kullanır. RNG model  $k$ - $\varepsilon$  modelinkine benzer denklemler

kullanmakla birlikte,  $k-\varepsilon$  modelde ampirik olarak elde edilen katsayılar RNG model de açık şekilde bulunur. Sınır şartları olarak eşik üzerinde ve sediment taban sonundaki akım giriş ve çıkışı sabit serbest yüzeyler olarak tanımlanmıştır. Şekil 2 ve 3'te görüldüğü üzere  $h_0$  yüksekliğindeki katı bir eşikten düşen serbest su jeti üzerinde  $h_t$  derinliğindeki kuyruksuyu bulunan kohezyonsuz ve sabit dane çaplı kabul edilen kum tabanı oymaktadır. Şekil 3'te 10 dakika sonunda meydana gelen oyulma miktarı akım hızlarıyla birlikte gösterilmiştir.



Şekil 2. Sayısal modelin teşkili

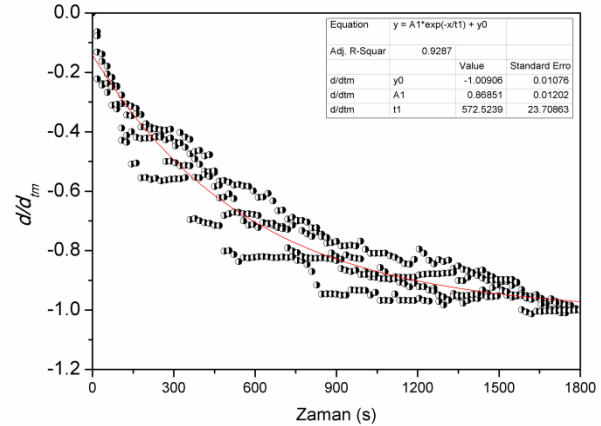
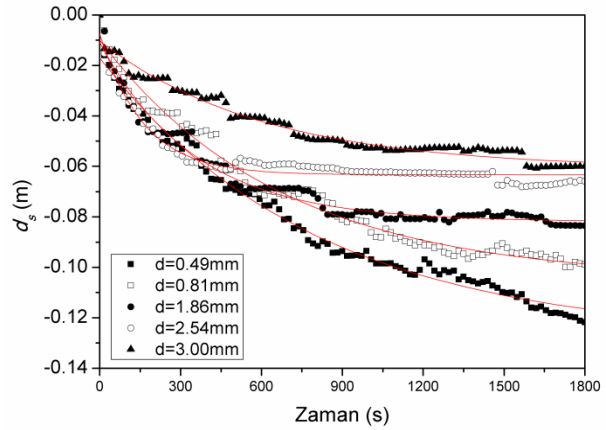


Şekil 3. Sayısal modelin meş yapısı ve örnek bir analiz ( $y_c=1.2$  cm,  $h_t=10$  cm)

## Bulgular ve Tartışma

Fiziksel deneylerde oyulmaların kararlı hale gelebilmesi için yaklaşık 9-12 saat gibi süreler ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süreler sayısal modeller için çok daha uzun çözüm zamanı demektir. Genel olarak literatür incelendiğinde, kohezyonsuz zeminlerde meydana gelen oyulmaların büyük çoğunluğunun (%80-90 gibi) ilk yarım saat içerisinde meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle sayısal modeller belirli süreler için yürütülmüş ve kararlı oyulmalar için ileriye doğru tahminler yapılmıştır. Oyulma derinliğinin zamana göre değişiminin üstel olduğunu bilinmektedir. Şekil 4(a)'da görüleceği gibi tüm dane çapları için maksimum oyulma derinliğinin zamana göre değişimleri üstel olmakla beraber, dane çapı da büyüdükçe

oyulma derinliği azalmaktadır. Dane çapı 4 mm'den daha büyük çaplar için sayısal analizlerde oyulma çok az gözlemlenmiştir. Şekil 4(a)'da elde edilen eğriler Eşitlik (13) ile ifade edilmiş olup katsayıları ise Tablo 1'de verilmiştir. Uydurulan eğriler  $R^2=\%95-99$  belirginlik katsayısı ile elde edilmiştir. Şekil 4 (b)'de ise boyutsuz oyulma miktarının zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere boyutsuz oyulma derinliği dikkate alındığında tüm dane çapları için hemen hemen tek bir üstel eğri elde edilebilir (Şekil 4b). Uydurulan bu eğrinin denklemi  $R^2=0.92$  belirginlik katsayısı ile Eşitlik (14)'te sunulmuştur.



Şekil 4. (a) Farklı dane çapları için maksimum oyulma derinliğinin zamanla değişimi, (b) Boyutsuz oyulma derinliğinin zamanla değişimi

$$d_s = A_0 + A_1 \exp\left(-\frac{t}{t_1}\right) \quad (13)$$

$$\frac{d_s}{d_{tm}} = -1.00 + 0.83 \exp\left(-\frac{t}{558}\right) \quad (14)$$

Şekil 4a'daki farklı dane çapındaki yatak oyulmalarının üstel değişimlerini ayrı ayrı ifade etmek için Eşitlik (13)'teki denklemin katsayıları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Şekil 4(a)'daki üstel eğrilerin katsayıları

$d_{50}$	$A_0$	$A_1$	$t_1$	$R^2$
<b>0.49</b>	-0.128	0.111	798	0.99
<b>0.81</b>	-0.105	0.095	669	0.98
<b>1.86</b>	-0.082	0.071	352	0.97
<b>2.54</b>	-0.063	0.056	161	0.95
<b>3.00</b>	-0.061	0.051	607	0.97

Dey ve Raikar (2007) tarafından yürütülen deneysel model çalışmalarına uygun olarak seçilen bazı fiziksel malzeme özelliklerine göre çalışılan sayısal simülasyon sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur. Söz konusu tabloda 30 dakikalık simülasyon sonuçları ve üstel eşitliklerle tahmin edilen 9 saatlik sonuçlar Dey ve Raikar (2007) tarafından verilen deneysel ölçümlerle birlikte verilmiştir. Deneysel ölçümlerde 9 saat sonunda  $d_{50}=0.81$  mm çaplı danelerin kararlı oyulma derinliğine ulaştığı

belirtilmiştir.  $d_{50}=0.81$  mm'den daha büyük danelerin belirtilen 9 saatlik periyottan daha önce kararlı hale geldiği de Dey ve Raikar (2007) tarafından izlenmiştir. Makale ayrıca, farklı dane büyüklüğü kullanılarak gerçekleştirilen 12 saatlik deneylerden de elde edilen maksimum oyulma derinliğinin 9 saatlik süre sonunda elde edilen veri ile aynı olduğunu gözlemlemiştir.

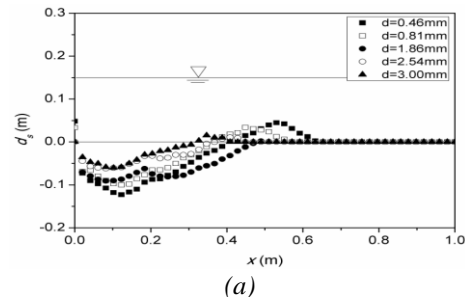
Simülasyon ve hesap sonuçlardan anlaşılacağı gibi oyulma miktarının büyük çoğunluğu ilk 30 dakika gerçekleşmiş olup, 9 saatlik kararlı oyulma derinliği bu değerlerden çok da farklı değildir. 9 saatlik simülasyon çözümlerinin günler alacağı düşünüldüğünde 30 dakikalık çözümün yeterli bir tahmin sunacağını söyleyebiliriz. Deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında düşük dane çapları dışında yaklaşık %10 gibi bir rölatif hata tespit edilmiştir. Küçük dane çaplarında, seçilen matematiksel model, sonlu eleman ağı yapısı, sürüntü ve askı maddelerinin taşınımı ve deneysel çalışmalarda hatalar gibi nedenlerle sonuçların etkilenmiş olabileceği tahmin edilmektedir.

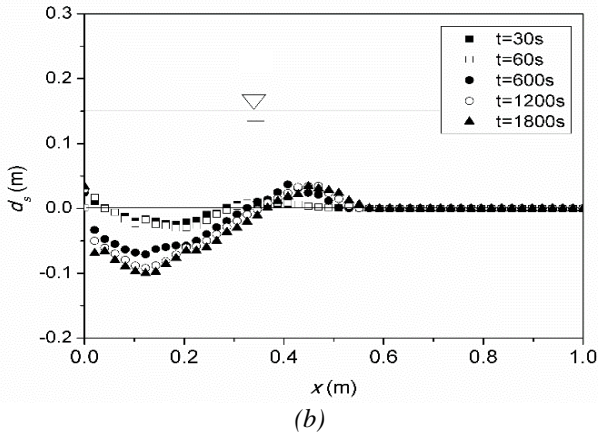
**Tablo 2.** Model boyutları ve sedimentin fiziksel özellikleri

$h_0$	$h_t$	$d_{50}$	Kritik Shield Sayısı $\theta_c$	$y_e$	$\rho_s$	Maksimum oyulma derinliği ( $d_s$ )		
						Dey ve Raikar (2007)	HAD (30 dak.)	HAD (9 sa)
(cm)	(cm)	(mm)	--	(cm)	kg/m <sup>3</sup>	(m)	(m)	(m)
<b>10</b>	15	0.49	0.031	1.2	2600	0.172	0.123	0.128
<b>10</b>	15	0.81	0.031	1.2	2600	0.095	0.100	0.105
<b>10</b>	15	1.86	0.040	1.2	2600	0.075	0.084	0.082
<b>10</b>	15	2.54	0.044	1.2	2600	0.056	0.061	0.063
<b>10</b>	15	3.00	0.046	1.2	2600	0.054	0.060	0.061

Farklı dane çapları için oyulma profilleri Şekil 5(a)'da,  $d_{50}=0.81$  mm için farklı zamanlardaki oyulma profilleri ise Şekil 5(b)'de verilmiştir. Dane çapı büyüdükçe oyulma boyu ve derinliğinin azaldığı görülmektedir. Zamana göre değişim profillerinde ilk dakikalarda oyulma profillerinin hızlı değiştiği ancak zaman geçtikçe bu değişimin azaldığı görülmektedir. Örneğin  $t=1200$  s ile  $1800$  s zamanlardaki oyulma profilleri arasında önemli bir fark

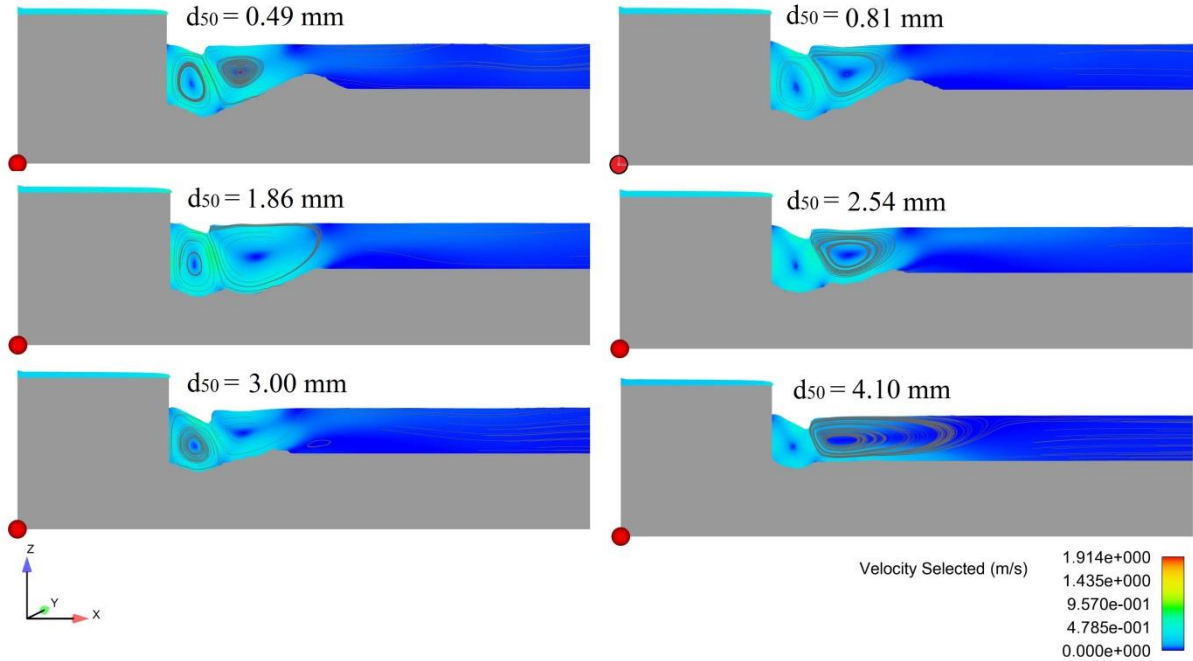
yoktur. Bu durum yukarıdaki üstel değişimle de uyumludur.





Şekil 5. (a) Farklı dane çapları için oyulma profilleri (b) Oyulma profillerinin zamana göre değişimi ( $d=0.81mm$ )

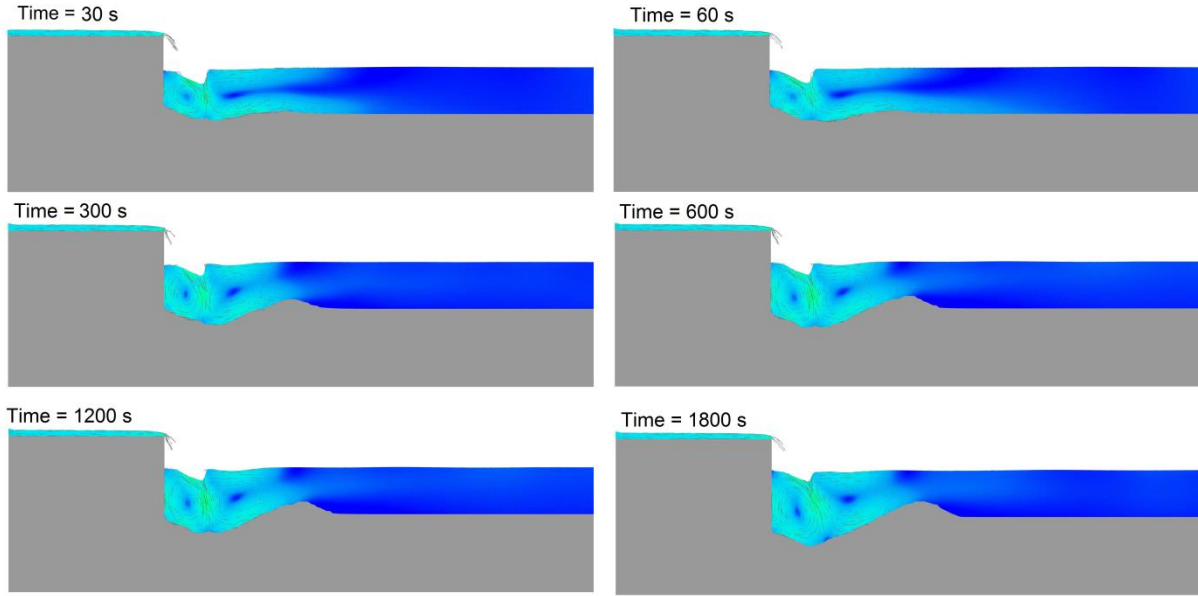
Şekil 6'da farklı dane çapları için oyulma durumları, akım çizgileri ve hız kontörleriyle birlikte verilmiştir. Burada da çap büyüdükçe oyulma ve yığılma miktarlarının azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Akım çizgileri incelendiğinde su jetinin kuyruk suyuna daldığı kesimin memba ve mansabında iki farklı akım döngüsü meydana geldiği görülmektedir. Akım çizgilerinin ayrıldığı noktada hız teorik olarak sıfır olup durma noktası meydana gelmektedir. Bu nedenle beklenenin aksine bu noktada oyulma daha az meydana gelmiştir.



Şekil 6. Farklı dane çapları için akım çizgileri ve oyulma profilleri

Şekil 7'de  $d_{50}=0.49$  mm için farklı zaman anlarındaki oyulma profilleri hız vektörleriyle birlikte verilmiştir. Oyulmanın zamanla arttığı gözlenirken oluşan döngüler zamanla daha belirgin hale gelmektedir. Her iki döngü farklı

yönlerde gerçekleşerek akım jetinin memba ve mansabının farklı yönlerde oyulmasına neden olmaktadır.



Şekil 7.  $d_{50}=0.49\text{mm}$  dane çapı için hız vektörleriyle birlikte oyulma profilleri

## Sonuçlar

Bu çalışmada hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak bir eşik üzerinden serbest düşen su jetinin mansabındaki kohezyonsuz kum zeminlerde meydana gelen oyulmalar incelenmiştir. Sayısal sonuçlar Dey ve Raikar (2007) tarafından sunulan bazı deneysel verilerle kıyaslanmış ve oyulma derinlikleriyle ilgili olarak yaklaşık olarak %10 fark tespit edilmiştir. Oyulma problemindeki belirsizlikler deneysel ve sayısal zorluklar ve farklı yaklaşımlar dikkate alındığında Meyer, Peter ve Müller (1948) tarafında sunulan bağıntıların kullanıldığı sayısal simülasyon sonuçları iyi bir yaklaşım sunmuştur. Elde edilen simülasyon sonuçlarından aşağıdaki bazı sonuçlara dikkat çekilmiştir:

- Oyulmanın zamana göre değişimi exponansiyel olup zamanla maksimum oyulma derinliğindeki değişim azalmakta sonunda kararlı oyulma durumu gerçekleşmektedir. Kohezyonsuz taban malzemesinde oyulmanın büyük çoğunluğu (yaklaşık %90'ı) ilk yarım saat içerisinde gerçekleşmektedir.
- Su jetinin kuyruk suyuna daldığı noktanın memba ve mansabında ters yönlü akım

döngüleri meydana gelmekte ve bu döngüler nedeniyle iki farklı oyulma bölgesi oluşmaktadır. Beklenenin aksine su jetinin etki noktasında durma noktası meydana geldiğinden göreceli olarak bu noktadaki oyulma derinliği daha azdır.

- Elde edilen sayısal model sonuçların literatürdeki deneysel verilerle yeterince uyumlu olduğu görülmüştür.
- Hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümleri oyulma problemlerinde oldukça etkili olduğunu görülmüştür. Fakat yine de belirtmek gerekir ki, yapılan analizlerden güvenilir sonuçlar alabilmek için deneysel verilerle kalibre edilmesinde fayda vardır.

## Kaynaklar

- Aydın, M.C., Işık E., (2015). Using CFD in Hydraulic Structures. *International Journal of Scientific and Technological Research*. 1(5):7-13.
- Bormann, N.E., Julien, P.Y., (1991). Scour downstream of grade control structures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(5):579–594.
- Chamani, M.R., Beirami, M.K., (2002). Flow characteristics at drops. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(8):778–791.
- Dey, S., Raikar, R.V., (2007). Scour below a High Vertical Drop. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(5): 564-568.
- Dick, R., Mastbergen, Jan, H., Berg., V.D., (2003). Breaching in fine sands and the generation of sustained turbidity currents in submarine canyons. *Sedimentology*, 50(4):625–637, doi:10.1046/j.1365-3091.2003.00554.x.
- Flow 3D, (2014). Manual, Sediment Scour Model. Flow-3D User Manual, v11.0.3. *Flow Science, Inc.*
- Ghodsian, M., Mehraein, M., Ranjbar H.R., (2012). Local scour due to free fall jets in non-uniform sediment. *Sharif University of Technology, Scientia Iranica*, 19(6):1437-1444.
- Ghodsian, M., Melville, B., Coleman, S., (2012). Local scour due to sediment carrying free-overfall water jet. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 165(WM1):21-29.
- Ghodsian, M., Melville, B., Tajkarimi, D., (2006). Local scour due to free overfall jet, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 159(4):253-260.
- Jia, Y., Kitamura, T., Wang, S.S.Y., (2001). Simulation of scour process in plunging pool of loose bed-material. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(3):219–229.
- Little, W.C., Murphey, J.B., (1982). Model study of low drop grade control structures. *Journal of Hydraulic Division*, 108(10):1132–1146.
- Mason, P.J., Arumugam, K., (1985). Free jet scour below dams and flip buckets. *J. Hydraul. Eng.*, 111(2):220–235.
- Meyer-Peter, E., Müller, R., (1948). Formulas for bed-load transport. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research*, pages 39–64.
- Schoklitsch, A., (1932). Kolkbildung unter überfallstrahlen. *Wasserwirtschaft*, 24, 341–343.
- Soulsby, R., (1997). *Ch. 9: bedload transport*. In *Dynamics of Marine Sand*. Thomas Telford Publications, London.
- Stein, O.R., Julien, P.Y., Alonso, C.V., (1993). Mechanics of jet scour downstream of a headcut. *Journal of Hydraulic Research*, 31(6):723–738.
- Van, R. L., (1984). Sediment transport, Part I: bed load transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(10):1431–1456. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:10(1431)



## Investigation of Local Scours under Vertical Drop Using CFD

### Extended abstract

Artificial drops at the bottom of the stream can be used in high elevation streams to reduce the slope and regulate the flows. The flow state on such a drop is often in the form of a free-falling sluice stream. Nevertheless, the channel base or the head created by the control structure causes the bottom floor of the downstream section to be carved. A considerable part of the energy of the river is absorbed by the turbulent mixture in the carving pool located downstream of this head. Thus, the bed material in downstream is subject to scour due to jet-induced diffusion and instability in the base sediment. Details of previous works on the subject have been noted in this article.

In the study scours from cohesionless uniform sand bed granules of different grain sizes under free drop water jet were obtained with the help of Computational Fluid Dynamics (CFD). The results are compared with the experiments made by Dey and Raikar (2007) and the results are interpreted. Hydraulic characteristics of free water jet are presented with schematic and equations.

In the dimension analysis section, many empirical correlations are presented in the literature regarding the depth of scouring under free hypothesis. But most of these correlations are presented under certain conditions and can give different results. Some relativities are given in terms of dimensional quantities, while some have been neglected. In this study, the most effective parameters determining the scour under a 2D free jet drop given shape are obtained from the dimensional analysis based on some studies in the literature

In the study, the scour under free fall were tried to be estimated by using Sediment Scour Model together with Flow 3D software. This model attempts to predict the motion of multiple cohesionless sediment piles with different properties such as grain size, density, critical shear stress, slope angle, and convection and input parameters. The model estimates the sediment motion by calculating sediment wearing, advection and accumulation events.

The numerical model was prepared with Flow 3D, and the geometry of the model, the mesh structure and the analysis result are shown in the article. 42000 structured cells were used in two-dimensional analyzes. RNG (Renormalized Group) model was used as the turbulence model. This model uses statistical methods in the generation of the averaged equations for turbulence parameters such as turbulence, kinetic energy ( $k$ ) and turbulence expansion rate ( $\epsilon$ ).

In physical experiments, a period of about 9-12 hours is required for the scour to become stable. These times are longer for numerical models. It is known that the great majority of scouring (such as 80-90%), especially in cohesionless soils, have come to fruition within the first half hour. For this reason, numerical models have been carried out for a certain period of time and forward estimates have been made for stable scour. Many researchers have shown that the time-varying change in depth of deformation is exponential.

The study investigates the downstream scour of the free fall water jet over a sill on cohesionless sandy floors by using calculated fluid. The results were compared with experimental data and a difference of approximately 10% was determined with respect to the depth of the scouring.

Some of the results of the obtained analyze are as follows: The variation of the time of the oscillation is exponential, and the change in the maximum depth of penetration decreases with time, finally resulting in a stable scour. The majority (about 90%) of cohesionless base material is scoured within the first half hour. This may be valid for standard diameters and standard conditions. There are two different flow curves in opposite direction at upstream and downstream of the point where the water jet falls into the tail water, and due to these cycles two different scour regions are formed. Contrary to what is expected, the scour depth at this point is relatively small, since the point of stopping at the point of impact of the water jet is relatively small. Computational fluid dynamics can be a good tool for such problems. Different approaches and parameters can be tried for better results.

**Keywords:** Sill structure, Scour, Sediment bed, CFD, Hydraulic structures.



## Bilimsel çalışmalarda kullanılan yapay zeka uygulamalarının ve trendlerinin incelenmesi

**Soner UZUNDURUKAN**

Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

[soneruzundurukan@sdu.edu.tr](mailto:soneruzundurukan@sdu.edu.tr) ORCID: 0000-0003-4080-6642, Tel: (246) 211 1204

**Kemal SAPLIOĞLU\***

Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

[kemalsaplioglu@sdu.edu.tr](mailto:kemalsaplioglu@sdu.edu.tr) ORCID: 0000-0003-0016-8690, Tel: (246) 211 1213

Geliş: 14.02.2018, Kabul Tarihi: 26.02.2018

### Öz

Çeşitli bilim alanlarındaki modelleme ve optimizasyon problemlerinin çözümünde yapay zeka algoritmalarının kullanımı gün geçtikçe artan bir trende sahiptir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle birlikte yeni algoritmaları kullanan optimizasyon ve modelleme çalışmaları literatüre girmektedir. Bu çalışmada literatürde kullanılan bazı yapay zeka algoritmaları hakkında incelemeler yapılmış ve sunulmuştur. İncelenen algoritmalar Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık, Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi, Genetik Algoritmalar, Yapay Arı Kolonisi, Karınca Kolonisi, Diferansiyel Gelişim Algoritması, Parçacık Sürüsü, Kedi Sürüsü Armoni Arama, Tabu Arama, Dağınık Arama ve Tepe Tırmanma Algoritmaları olarak dikkate alınmıştır.

Çalışmada, incelenen algoritmalar hakkında bazı istatistiksel bilgiler verilmiştir. Yapay zeka algoritmalarının kullanıldığı zaman aralıkları, bu zaman aralıklarında yıllara bağlı yayın sayıları, bu yayınların toplam yayınlara oranları, bu çalışmada incelenen algoritmaları en çok kullanan araştırmacıların bulunduğu ülke sıralaması, ülkemizde bu çalışmalara katkısı olan üniversitelerin sıralaması ve algoritmaların yaygın olarak kullanıldığı bilim alanları hakkında bilgiler verilmiştir. Son aşamada ise yapılan yayınların eğilimleri Mann-Kendall test istatistiği ile araştırılmış ve gelecekteki yayın potansiyellerinden bahsedilmiştir. İncelenen algoritmalar arasında Kedi Sürüsü Algoritması dışındaki tüm algoritmalarda %95 güven aralığında artan bir trend tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Zeka Algoritmaları; Mann-Kendall; Yapay Sinir Ağları; Bulanık Mantık; ANFİS; Genetik Algoritmalar;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Çeşitli bilim alanlarındaki modelleme ve optimizasyon problemlerinin çözümünde yapay zeka algoritmalarının kullanımı gün geçtikçe artan bir trende sahiptir. Aynı zamanda mevcut algoritmalara yeni yöntemlerin eklendiği görülmektedir. Örneğin Yapay Sinir Ağları (YSA), Bulanık Mantık, Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFİS) ve Genetik Algoritmalar (GA) en çok kullanılan yapay zeka uygulamalarındandır.

YSA öğrenen bilgisayar sistemleridir. Birbirine bağlı yapay sinir hücrelerinden oluşurlar. Her bir bağlantı noktasına farklı ağırlıklar atanır. Eğitim için kendisine verilen veri setlerini kullanarak öğrenme işlemi gerçekleştirirler (Saplıoğlu, 2010). Öğrenmenin çok iyi olduğu durumlarda sonuç kesinliği yoktur. Bazen eğitim aşaması tamamen ezberleme mantığı ile de çalışabilmektedir. Bu nedenle mutlaka test verisi ayrılmalı ve öğrenme aşamasında elde edilen fonksiyonlar test için ayrılan verilerle denetlenmelidir. Eksik bilgi ile çalışabilmesi ve benzerlikler altında karar verebilmesi bu sistemin hemen hemen her alanda kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır (Öztemel, 2012). YSA uygulamaları mühendisliğin birçok alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Yağış- Akış modellemeleri (Nourani, 2017; Chang, et al., 2017), toprak erozyonunun (Gholami, et al., 2018), mekanik parçaların mukavemeti (Shabani a & Mazahery, 2011) ve rezervuar kapasite tahminleri (Adibifard, et al., 2014) gibi çeşitli konularda kullanılmıştır.

Bulanık Mantık Modelleri diğer modellerden farklı olarak uzman görüşü tarafından eğitilirler. Uzmanların görüşü alınarak oluşturulan modeller deneysel veya matematiksel sonuçlarla karşılaştırılarak doğruluğu tespit edilir. Bu yöntemin çıkış mantığı kümeleme sisteminin daha esnek olması üzerine kurulmuştur. Herhangi bir olayın doğruluğu veya yanlışlığı belli ağırlıklar çerçevesinde kabul edilebilir. Bulanık mantık üzerine mühendisliğin pek çok dalında çalışmalar yapılmıştır. Örneğin

sıkıştırılmış betonun basınç-gerilme ilişkisinin tahmini (Sahin & Bedirhanoglu, 2014), açık kanalların optimum dizaynı (Fuat, 2009), çalışma alanlarındaki sağlıklı ve konforlu ses seviyesinin belirlenmesi (Aluclu, et al., 2008), zemin sınıflandırılması (Toksoz, et al., 2016), geotermal sistemlerdeki minerallerin bulanık olarak kontrol edilmesi (Haklidir & Haklidir, 2017) ve taşımacılığın mevsimsel etki dikkate alınarak düzenlenmesi (Ülengin, et al., 2017) gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

ANFİS, Bulanık Mantık ve YSA modellerini hibrit olarak birleştiren bir modelleme yöntemidir. Bulanık Mantıktan farkı kuralların mevcut veriler kullanılarak otomatik olarak elde edilmesine dayanır. Mıknatıslı senkron motorların çekirdek dirençlerinden dolayı oluşan kayıpların tahmini (Erdoğan & Ozdemir, 2016), sediment taşınımının modellenmesi (Ebtehaj & Bonakdari, 2017), büyük depremlerin sismik dalga hareketinin tahmini (Chaudhur, et al., 2018), internet erişim sensörlerinin yerlerinin belirlenmesi (Baccar, et al., 2017) sıkıştırılmış zeminlerde şişme potansiyelinin belirlenmesi (Kayadelen, et al., 2009), buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemlerinde enerjisel performansın belirlenmesi (Gill & Singh, 2017) ve delikli polimer liflerin çekme miktarının belirlenmesi (Salim, 2017) gibi pek çok konuda kullanılmaktadır.

GA, biyolojideki gen, kalıtım, mutasyon, doğal seleksiyon ve çaprazlama gibi evrim ile ilgili kavramlardan ilham alan algoritmalarıdır. GA temel olarak, ilgilenilen optimizasyon probleminin çözümü için olası çözüm adaylarının (kromozomların) bulunduğu popülasyon üzerinde yapılan genetik işlemlere dayanır. Öncelikle rastgele genlerden oluşan kromozomlardan teşkil edilen bir popülasyon oluşturulur. Bir sonraki nesle aktarılacak kromozomlar, uygunluk fonksiyonu kullanılarak hesaplanan uygunluk değerine bağlı olarak seçilir. Uygunluk değeri daha yüksek kromozomlar elde etmek amacıyla, seçilen kromozomlar üzerinde çaprazlama işlemi yapılır. Ayrıca yerel minimum çözüm elde etme riskini azaltmak amacıyla mutasyon işlemiyle

popülasyondaki kromozom çeşitliliği arttırılabilir ve çözüm kümesi genişletilebilir. İstenilen uygunluk değerine ulaşıncaya kadar iteratif işlemlerle süreç tekrarlanır (Haznedar, et al., 2017). Mikro aralıklı verilerin sınıflandırılması (Bilen, et al., 2015), doğal gaz ihtiyacının modellenmesi (Özdemir, et al., 2016), nehir akımlarının tahmini (Keskin & Taylan, 2009), sezgisel araç yönlendirme sistemleri (Kuscu & Kucuksille, 2011) robotların ve robot parçalarının hareketlerinin oluşturulması (Gultekin, et al., 2017), ön gerilmeli beton kirişlerin optimum dizaynı (Turkeli & Ozturk, 2017) ve mikro dalga transistörlerinin performans analizi (Yidirim, et al., 2017) gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca genetik algoritma ve doğrusal olmayan programlama kullanılarak baraj işletme modelleri geliştirilmiş ve birbiri ile karşılaştırılmıştır (Arslan, 2013; Arslan, 2015; Arslan, 2016).

Yapay arı kolonisi (YAK) algoritması, bal arılarının besin arama davranışlarına dayanan nümerik bir optimizasyon algoritmasıdır. Algoritmada dikkate alınan problemin muhtemel çözümleri, besin kaynağı; muhtemel çözümler için uygunluk değerleri ise besin kaynağındaki nektar miktarı olarak değerlendirilmektedir. YAK algoritmasında arama uzayında optimum çözümü bulmak amacıyla uçan kaşif, işçi ve gözcü arı olmak üzere üç tip arı bulunmaktadır. İşçi arılar besin kaynağından kovana nektar taşır ve besin kaynağının komşuluğunda yeni besin kaynakları ararlar. Gözcü arılar, işçi arıların getirdiği nektar miktarına bağlı olarak hangi besin kaynağının seçilmesi gerektiğini belirler. Nektarı tükenen besin kaynağında görevli işçi arı ise kaşif arıya dönüşerek yeni kaynaklar keşfetmek amacıyla arama uzayında rastgele arama yapmaya devam ederler. Bu algoritmadan pek çok mühendislik probleminin çözümünde faydalanılmıştır. Örneğin, bir havza içerisinde su kalitesi izleme ağı kurulması (Perez, et al., 2017), yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin gruplanması (Chehreghan & Abbaspour, 2017) biomedikal alanlarda uzaktan yönetimli ilaç verme problemlerinin çözümü (Guo, et al., 2018) ve

küçük ölçekli helikopterlerin optimum kontrolünün sağlanması (Ma, et al., 2017) gibi pek çok konuda kullanılmaktadır.

Karınca kolonisi algoritması, karıncaların yuvaları ve besin kaynakları arasındaki en kısa yolu bulmak için sergiledikleri besin arama davranışını taklit eden bir algoritmadır. Bir karınca besin kaynağı ararken yuvasına yakın bölgeleri rastgele taramakta, besin kaynağını bulduktan sonra, bir miktar besini yuvasına taşıırken takip ettiği yola zamanla buharlaşan ve feromon adı verilen kimyasal haberci salgılamaktadır. Feromonun buharlaşması nedeniyle olası rotalardan en kısa olanında daha fazla feromon birikmektedir. Kolonideki herhangi bir karınca tarafından herhangi bir rotanın seçilme olasılığı ise o rota üzerindeki feromon miktarına bağlı olarak artmaktadır. Dolayısıyla, feromon miktarı, kolonideki diğer karıncaların besin kaynağına ulaşması için yol gösterici olmaktadır. Yapay karınca kolonisi algoritmasında, öncelikle problemin doğasına uygun olarak karınca sayısı seçilmekte ve karıncaların tercih ettiği rotalardaki feromon miktarını kayıt altına alan feromon matrisine başlangıç değerleri atanmaktadır. Karıncaların rota seçimini etkileyen olasılık matrisi oluşturulmaktadır. Başlangıç noktasının seçimi, feromon bırakma, buharlaşma oranı ve feromon güncellemesi ile ilgili kurallar belirlendikten sonra her bir karınca kendi başlangıç noktasından hareket ettirilerek, arama algoritmaları ile en yüksek feromon konsantrasyonlarına sahip rotalar belirlenmektedir. Algoritmada feromonun konsantrasyonunun yüksekliği, göz önüne alınan problemin kaliteli çözümlerinin göstergesi olarak kullanılmaktadır. Örneğin, taşkın haritalanması (Termeh, et al., 2018) ve tünellerdeki yeraltı suyu problemlerinin çözümü (Marwana, et al., 2016) gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), kuş ve balık gibi sürüler halinde hareket eden canlıların yiyecek arama ve güvenlik davranışlarından ilham alınarak geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir. Parçacık olarak isimlendirilen her

bir birey, arama uzayındaki (sürü) tekil çözümleri ifade etmektedir. Parçacıklar konum ve hız olmak üzere iki vektörel bileşene sahiptir. Sürüdeki tüm parçacıklar rastgele bir değerle arama işlemine başlamakta ve konumunu, sürünün en iyi konumuna sahip bireyine yaklaştıracak şekilde güncellemektedir. İteratif güncellemelerle optimum çözüm bulunmaya çalışılır. Yağış akış modellerinden (Niu, et al., 2018) robotik kontrol sistemlerine (Chen & Zhang, 2018) kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

Armoni arama algoritması müzik tabanlı bir algoritma olup müzisyenlerin en uyumlu armoniye bulmak için izledikleri yolu taklit eder. Öncelikle incelenen probleme ait çözüm parametreleri belirlenir. Bu parametrelere başlangıç değerleri atanarak uygunluk değeri belirlenir. İyi sonuçlar armoni hafızasında tutulurken en kötü sonuçlar hafızadan çıkarılır. Bu işlem en iyiyi bulana kadar devam ettirilir. Sulak alanların işletmesi (Xie, et al., 2012) gibi konularda bu algoritma yönteminden faydalanılmıştır.

Tabu araştırma algoritması, çözüm uzayında yeni çözümler oluşturmak amacıyla, önceki adımlarda elde edilen bilgileri saklayan esnek bir hafızaya sahiptir. Algoritmada mevcut çözümler belli ölçülerde değiştirilerek yeni çözüm kümeleri üretilir. Çözüm uzayındaki yerel minimuma takılma riskini engellemek amacıyla tabu listesi oluşturularak, mevcut çözüme uygulanmasına izin verilmeyen değişiklikler tabu listesine kaydedilir. Belirlenmiş durdurma kriterine ulaşıncaya kadar, mevcut tabu listesine uygun olarak üretilen çözüm kümeleri ve tabu listeleri güncellenerek, en iyi çözüm elde edilmeye çalışılır. Nükleer güç teknolojilerinden (Wu, et al., 2016) tümörlerin sınıflandırılmasına (Shen, et al., 2008) kadar pek çok çalışmada kullanılmıştır.

Diferansiyel Gelişim Algoritması GA'da bulunan çaprazlama, mutasyon ve seçim işlemlerini kullanan popülasyon temelli bir optimizasyon algoritmasıdır. Popülasyon

büyüklüğü, mutasyon faktörü ve çaprazlama oranı gibi parametreleri kullanarak popülasyon (çözüm kümesi) içerisindeki rastgele seçilen kromozomlardan (çözümler) yeni bir çözüm üretmek için kullanılmaktadır. Mevcut çözüm ve yeni çözüm kıyaslanarak uygunluk değeri daha iyi olan çözüm sonraki çözüm kümesine aktarılır ve bu şekilde tekrarlanan işlemler ile en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılır. Telekomünikasyon (Seferoglu & Modiano, 2016) ve rüzgar türbinlerinin konumlandırılması (Song, et al., 2018) gibi alanlarda kullanılmıştır.

Tepe tırmanma algoritması görebildiği alan içerisinde aramaya yapan ve uygunluk değerine bağlı olarak bir sonraki çözüme adım adım hareket eden bir algoritmadır. Bu algoritma iki seçenekten birisine yönlendirme yaptığından dolayı yerel çözüme takılabilmektedir. İşlemleri hızlı olmasına rağmen optimum çözüme ulaşamama riski vardır. Karmaşık endüstriyel problemlerin çözümünde (Haydo, 2018) ve güneş pillerinin optimizasyonu (Pellet, et al., 2017) gibi alanlarda kullanılmıştır.

Dağınık Arama Algoritması çözüm kümesini rasgele oluşturan çözüm kümesinden en uygun çözümleri seçerek bir referans kümesi üretmektedir. Referans kümesindeki çözümlerin iyileştirilmesi için küme elemanları uygunluk değerlerine bağlı olarak en iyiden en kötüye doğru sıralanır. Alt kümeler oluşturup kombinasyon tamamlandıktan sonra iyileştirme işlemi yapılır. Daha iyi bir çözümle karşılaştığında, en kötü çözüm çıkartılarak referans kümesi güncellenir. Daha kötü bir çözüme ulaşıldığında ise popülasyondan yeni çözümler referans kümesine aktarılarak işlemler tekrarlanır. İstenilen kriterler sağlandığında algoritma sonlandırılır. Farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin su kaynaklarının optimum kullanımı (Lerma, et al., 2015), patates cipsinin yağda kızarma süresinin belirlenmesi (Arias-Mendez, et al., 2013) ve giyilebilir sensörlü elbiselerle fiziksel aktivitelerin kısıtlanması (Arif, et al., 2015) gibi pek çok problemin çözümünde kullanılmaktadır. Kedi sürüsü algoritması, hayvanların hareketlerini inceleyerek oluşturulmuş

algoritmalarından bir tanesidir. Kedilerin arama ve izleme modlarını kullanır. Öncelikle arama kedileri oluşturulur. Bu kediler önceden belirlenmiş aralıktaki sayıları seçmek için rastgele dağıtılır. Ardından rastgele sayıda kedi seçim kriterine göre izleme moduna yerleştirilir. Her harekette kedilerin uygunluk değerleri hesaplanır ve en iyi sonuçlar hafızada tutulur. Bu işlem, sonlandırma şartı devreye girene kadar döngüye girer. Sonlandırma şartı sağlandığında döngü kırılır ve en iyi sonuç değerleri belirlenir. Literatürde az rastlanılmasına rağmen bazı alanlarda kullanılmaya başlamıştır. Örneğin kablosuz sensor ağı teknolojisinde bir odaya konabilecek ve etki alanı maksimum olacak en minimum sensor sayısının seçiminde (Temel, et al., 2014), optimum hazne kapasitesinin belirlenmesi (Bahrami, et al., 2018), sulama kanallarının boyutlandırılması (Liu, et al., 2016), yeraltı suyu yönetimi problemleri (Majumde & Eldho, 2016) ve robotik teknolojileri (Sun, et al., 2015) gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

Çalışmada yapay zeka uygulamaları hakkında bilgiler verilerek yapılan çalışmalar özetlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca çalışmanın uygulama ve bulgular kısmında çalışılan yöntemler hakkında bazı istatistiki bilgiler verilmiştir. Yapay zeka algoritmalarının kullanıldığı zaman aralıkları, bu zaman aralıklarında yıllara bağlı yayın sayıları, bu yayınların toplam yayınlara oranları, bu çalışmada incelenen algoritmaları en çok kullanan araştırmacıların bulunduğu ülke sıralaması, ülkemizde bu çalışmalara katkısı olan üniversitelerin sıralaması ve algoritmaların yaygın olarak kullanıldığı bilim alanları hakkında bilgiler verilmiştir. Son aşamada ise yapılan yayınların eğilimleri Mann-Kendall test istatistiği ile araştırılmış ve gelecekteki yayın potansiyellerinden bahsedilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

Çalışmada elde edilen yayın sayıları ve istatistiksel bilgileri web of science'dan alınmıştır. Ayrıca çalışmada yapılan yayın sayılarının

yıllara göre değişimini tespit etmek amacı ile Mann-Kendall Trend testi kullanılmıştır.

## Mann-Kendall Trend Analizi

Mann – Kendall testi (Mann, 1945; Kendall, 1975) parametrik olmayan bir test olup data dağılımından ile ilgili değildir. Zaman serisi içerisinde bir trendin var olup olmadığını anlamak için hipotez testine bakılır. Hipotez sonucu olumsuz ise trend oluşumundan bahsedilebilir. Analiz yapılırken zaman serileri  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ,  $(x_i, x_j)$  olmak üzere iki guruba ayrılır. Bu çiftlerden her  $x_i < x_j$  için  $i < j$  koşulu sağlanırsa P değeri bir arttırılır tersi durumda yani  $\dots x_i > x_j$  koşulu için M bir arttırılır. Daha sonra da test istatistiği tanımlanır.  $S = P - M$  (Saplıoğlu, et al., 2017).

$n > 10$  için Kendall korelasyon katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\mu_s = 0 \text{ ve } \sigma_s = \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} \quad (1)$$

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sigma_s} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s-1}{\sigma_s} & s < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Elde edilen Z değeri normal dağılımda  $Z/2$  değerine karşılık gelen  $\alpha$  sayısından küçük ise hipotez kabul edilir ve trend olmadığı belirlenir. Şayet bu değer  $Z/2$  değerine karşılık gelen  $\alpha$  değerinden büyük ise hipotez reddedilir ve trend olduğu kabul edilir. Trendin olduğu durumlarda bulunan S değeri pozitif ise trendin artış eğiliminde olduğu, negatif ise trendin azalış yönünde olduğu belirlenir. Bu teste dataların dağılım ile uyumlu olmasına gerek olmadığı için pratik bir yöntemdir (Saplıoğlu, et al., 2014).

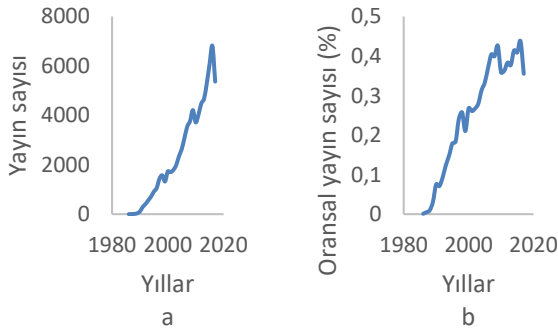
## Uygulama ve Başarımlar

Bu bölümde literatürde yaygın olarak kullanılan yapay zeka uygulamaları ile yapılan yayınların sayıca yıllara bağlı değişimleri, ilgili yıla ait

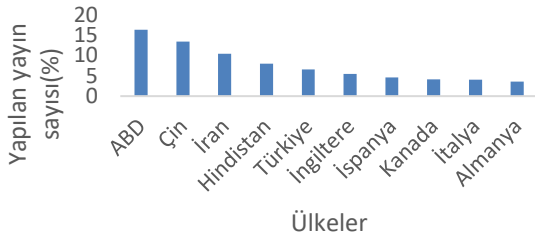
yapılan tüm yayınlar içindeki ağırlıkları, yöntemlerin kullanımının ülkelere, Türkiye’deki üniversitelere ve bilim dallarına göre değişimleri incelenmiştir.

#### a. YSA ile yapılmış yayınların analizleri

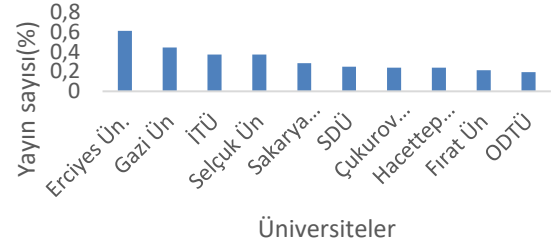
Yapılan analizlere bakıldığında YSA üzerine 1986 ile 2017 yılları arasında 47124 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 6813 yayınlı en çok yayın 2016 yılında yapılmıştır (Şekil 1 a). Aynı zamanda bu yayın sayısı 2016 yılında yapılmış toplam yayın sayısının onbinde 43 ünü oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek oransal yıldır (Şekil 1 b). Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 16 sı ABD üzerinden yapılırken Türkiye yaklaşık % 5,5 lik yayın oranı ile Dünyada 5. sırada yer almaktadır (Şekil 2). Türkiye’de bu konuda en çok yayın yapılan üniversite dünyada bu alanda yapılmış tüm yayınların onbinde 61’i ile Erciyes üniversitesidir (Şekil 3). Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 24 ü mühendislik bilim dalında yapıldığı görülmektedir (Şekil 4).



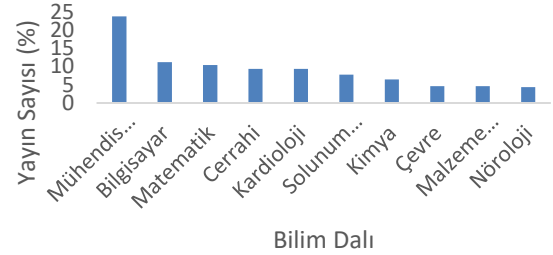
Şekil 1. (a) Yıllara göre YSA ile yapılan yayın sayıları (b) YSA ile yapılan yayınların yapılmış tüm yayınlara oranı



Şekil 2. Ülkelerin toplam yapılan YSA yayınlarının sayılarındaki yüzdesel katkıları



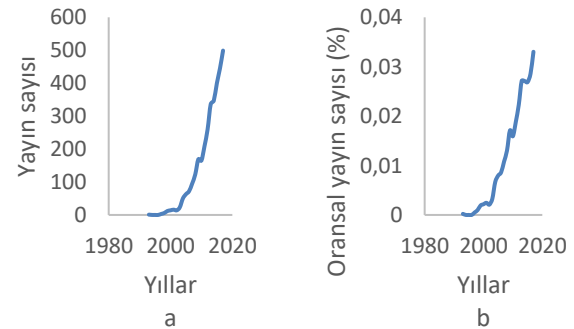
Şekil 3. Türkiye’deki üniversitelerin toplam yapılan YSA yayınlarının sayılarındaki yüzdesel katkıları



Şekil 4. YSA ile yapılan yayınların bilim dallarına göre yüzdesel dağılımı

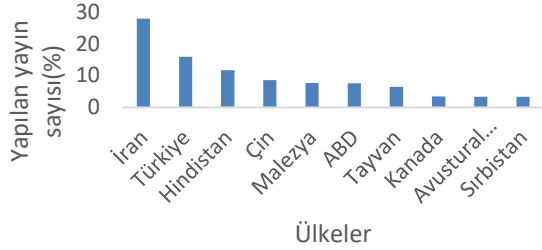
#### b. ANFİS ile yapılmış yayınların analizleri

Yapılan analizlere bakıldığında ANFİS üzerine 1993 ile 2017 yılları arasında 3339 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 499 yayınlı en çok yayın 2017 yılında yapılmıştır (Şekil 5. a). Aynı zamanda bu yayın sayısı 2017 yılında yapılmış toplam yayın sayısının yaklaşık onbinde 3’ünü oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek oransal yıldır (Şekil 5. b). Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 28 i İran üzerinden yapılırken Türkiye yaklaşık % 15,9 luk yayın oranı ile

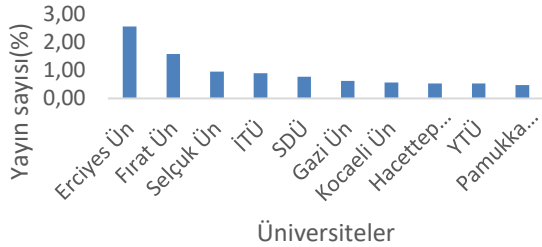


Şekil 5. (a) Yıllara göre ANFİS ile yapılan yayın sayıları (b) ANFİS ile yapılan yayınların yapılmış tüm yayınlara oranı

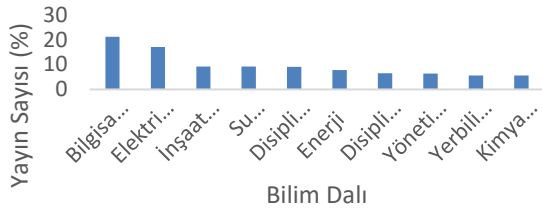
Dünyada 2. sırada yer almaktadır (Şekil 6). Türkiye’de bu konuda en çok yayın yapılan üniversite dünyada bu alanda yapılmış tüm yayınların % 2,58’i ile Erciyes Üniversitesi’dir (Şekil 7). Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 21 i Yapay Zeka bilim dalında yapıldığı görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 6. Ülkelerin toplam yapılan ANFİS yayınlarının sayılarındaki yüzdesel katkıları



Şekil 7. Türkiye’deki üniversitelerin toplam yapılan ANFİS yayınlarının sayılarındaki yüzdesel katkıları

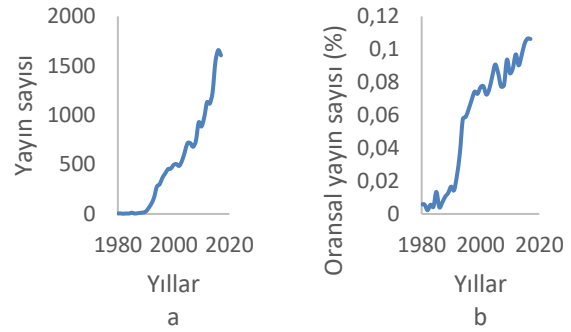


Şekil 8. ANFİS ile yapılan yayınların bilim dallarına göre yüzdesel dağılımı

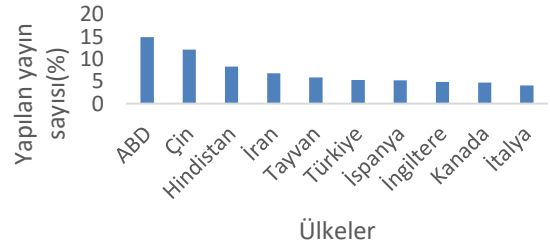
### c. Bulanık Mantık ile yapılmış yayınların analizleri

Yapılan analizlere bakıldığında Bulanık Mantık üzerine 1980 ile 2017 yılları arasında 19322 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 1657 yayınlı en çok yayın 2016 yılında yapılmıştır (Şekil 9. a). Aynı zamanda bu yayın sayısı 2016 yılında yapılmış toplam yayın sayısının yaklaşık binde 1’ini oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek

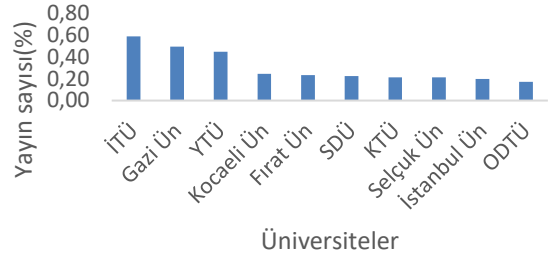
orsansal yıldır (Şekil 9. b). Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 15 i ABD üzerinden yapılırken Türkiye yaklaşık % 5,3 lük yayın oranı ile Dünyada 6. sırada yer almaktadır (Şekil 10). Türkiye’de bu konuda en çok yayın yapılan üniversite dünyada bu alanda yapılmış tüm yayınların onbinde 58’i ile İstanbul Teknik Üniversitesi’dir (Şekil 11). Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 23 ü Elektrik Elektronik bilim dalında yapıldığı görülmektedir (Şekil 12).



Şekil 9. (a) Yıllara göre FUZZY ile yapılan yayın sayıları (b) FUZZY ile yapılan yayınların yapılmış tüm yayınlara oranı

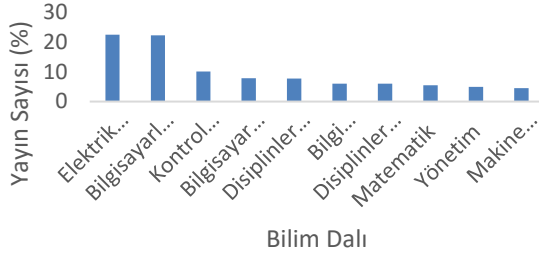


Şekil 10. Ülkelerin toplam yapılan Bulanık Mantık yayınlarının sayılarındaki yüzdesel katkıları

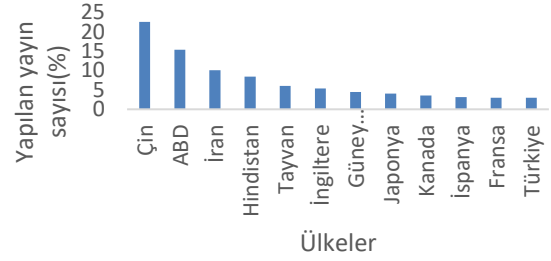


Şekil 11. Türkiye’deki üniversitelerin toplam yapılan Bulanık Mantık yayınlarının sayılarındaki yüzdesel katkıları





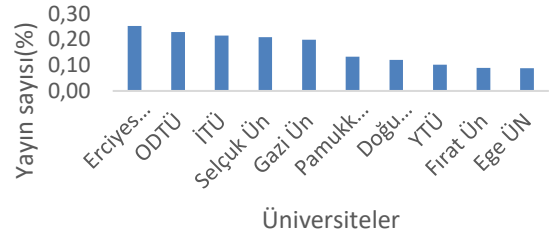
Şekil 12. Bulanık Mantık ile yapılan yayınların bilim dallarına göre yüzdesel dağılımı



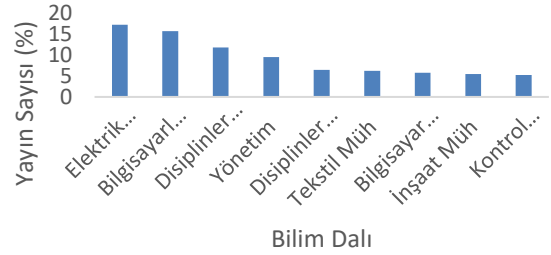
Şekil 14. Ülkelerin toplam yapılan Genetik Algoritma yayınlarının sayılarındaki yüzdesel katkıları

#### d. Genetik Algoritma ile yapılmış yayınların analizleri

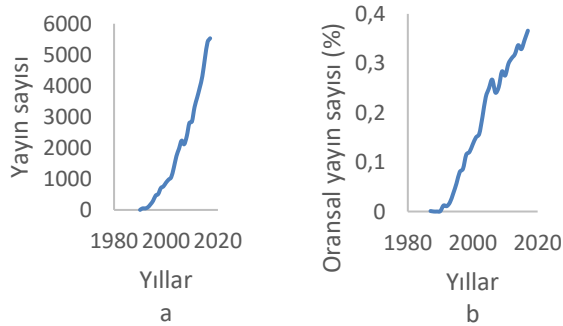
Yapılan analizlere bakıldığında Genetik Algoritma üzerine 1987 ile 2017 yılları arasında 54749 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 5531 yayınlara en çok yayın 2017 yılında yapılmıştır (Şekil 13. a). Aynı zamanda bu yayın sayısı 2017 yılında yapılmış toplam yayın sayısının yaklaşık onbinde 36'ünü oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek oransal yıldır (Şekil 13. b). Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 23 ü Çin üzerinden yapılırken Türkiye yaklaşık % 2,97 lik yayın oranı ile Dünyada 12. sırada yer almaktadır (Şekil 14). Türkiye'de bu konuda en çok yayın yapılan üniversite dünyada bu alanda yapılmış tüm yayınların % 0,25 ile Erciyes Üniversitesi'dir (Şekil 15). Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 17 si Elektrik Elektronik Mühendisliği bilim dalında yapıldığı görülmektedir (Şekil 16).



Şekil 15. Türkiye'deki üniversitelerin toplam yapılan Genetik Algoritma yayınlarının sayılarındaki yüzdesel katkıları



Şekil 16. Genetik Algoritma ile yapılan yayınların bilim dallarına göre yüzdesel dağılımı



Şekil 13. (a) Yıllara göre Genetik Algoritma ile yapılan yayın sayıları (b) Genetik Algoritma ile yapılan yayınların yapılmış tüm yayınlara oranı

#### e. Yapay Arı Kolonisi ile yapılmış yayınların analizleri

Yapılan analizlere bakıldığında Yapay Arı Kolonisi üzerine 2004 ile 2017 yılları arasında 2011 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 458 yayınlara en çok yayın 2017 yılında yapılmıştır. Aynı zamanda bu yayın sayısı 2017 yılında yapılmış toplam yayın sayısının yaklaşık onbinde 3'ünü oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek oransal yıldır. Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 33 i Çin üzerinden yapılırken Türkiye yaklaşık % 12,1 lik yayın oranı ile Dünyada 3. sırada yer almaktadır. Türkiye'de bu konuda en çok yayın yapılan

üniversite dünyada bu alanda yapılmış tüm yayınların % 3,8'i ile Erciyes Üniversitesi'dir (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**). Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 31 i Yapay Zeka bilim dalında yapıldığı görülmektedir.

#### **f. Yapay Karınca Kolonisi ile yapılmış yayınların analizleri**

Yapılan analizlere bakıldığında Yapay Arı Kolonisi üzerine 1993 ile 2017 yılları arasında 4669 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 596 yayınlı en çok yayın 2017 yılında yapılmıştır. Aynı zamanda bu yayın sayısı 2017 yılında yapılmış toplam yayın sayısının yaklaşık onbinde 4'ünü oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek oransal yıldır. Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 30 u Çin üzerinden yapılırken Türkiye yaklaşık % 4,05 lik yayın oranı ile Dünyada 7. sırada yer almaktadır. Türkiye'de bu konuda en çok yayın yapılan üniversite dünyada bu alanda yapılmış tüm yayınların % 0,79 ile Erciyes Üniversitesi'dir.. Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 27 si Yapay Zeka bilim dalında yapıldığı görülmektedir.

#### **g. Dağınık arama algoritması ile yapılmış yayınların analizleri**

Yapılan analizlere bakıldığında Dağınık arama üzerine 1994 ile 2017 yılları arasında 471 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 51 yayınlı en çok yayın 2015 yılında yapılmıştır. Aynı zamanda bu yayın sayısı 2015 yılında yapılmış toplam yayın sayısının yaklaşık yüzbinde 3 ünü oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek oransal yıldır. Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 27 si İspanya üzerinden yapılırken Türkiye yaklaşık % 3,18 lik yayın oranı ile Dünyada 12. sırada yer almaktadır. Türkiye'de bu konuda en çok yayın yapılan üniversite dünyada bu alanda yapılmış tüm yayınların % 0,82 ile Bursa Yüksek Teknoloji Üniversitesi'dir. Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 42 si Operasyonel Araştırma bilim dalında yapıldığı görülmektedir.

#### **h. Tabu araştırma algoritması ile yapılmış yayınların analizleri**

Yapılan analizlere bakıldığında Tabu araştırma algoritması üzerine 1990 ile 2017 yılları arasında 5182 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 385 yayınlı en çok yayın 2016 yılında gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda bu yayın sayısı 2016 yılında yapılmış toplam yayın sayısının yaklaşık onbinde 2,5'luk ünü oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek oransal yıldır. Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 16 sı ABD üzerinden yapılırken Türkiye yaklaşık % 5,08 lik yayın oranı ile Dünyada 9. sırada yer almaktadır. Türkiye'de bu konuda en çok yayın yapılan üniversite dünyada bu alanda yapılmış tüm yayınların % 0,93 ile Erciyes Üniversitesi'dir. Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 42 si Operasyonel Araştırma bilim dalında yapıldığı görülmektedir.

#### **i. Tepe tırmanma algoritması ile yapılmış yayınların analizleri**

Yapılan analizlere bakıldığında tepe tırmanma algoritması üzerine 1986 ile 2017 yılları arasında 19322 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 1657 yayınlı en çok yayın 2016 yılında gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda bu yayın sayısı 2016 yılında yapılmış toplam yayın sayısının yaklaşık binde 1 lik kısmını oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek oransal yıldır. Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 15 i ABD üzerinden yapılırken Türkiye yaklaşık % 5,32 lik yayın oranı ile Dünyada 6. sırada yer almaktadır. Türkiye'de bu konuda en çok yayın yapılan üniversite dünyada bu alanda yapılmış tüm yayınların % 0,58 ile İstanbul Teknik Üniversitesi'dir. Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 42 si Elektrik Elektronik Mühendisliği Araştırma bilim dalında yapıldığı görülmektedir.

#### **j. Diferansiyel gelişim algoritması ile yapılmış yayınların analizleri**

Yapılan analizlere bakıldığında Diferansiyel gelişim algoritması üzerine 1990 ile 2017 yılları arasında 6409 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 1051 yayınlı en çok yayın 2016 yılında

gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda bu yayın sayısı 2016 yılında yapılmış toplam yayın sayısının yaklaşık onbinde 7 lik kısmını oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek oransal yıldır. Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 30 u Çin üzerinden yapılırken Türkiye yaklaşık % 3,99 luk yayın oranı ile Dünyada 7. sırada yer almaktadır. Türkiye’de bu konuda en çok yayın yapılan üniversite dünyada bu alanda yapılmış tüm yayınların % 1,22 ile Erciyes Üniversitesidir. Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 26 sı Bilgisayarlı Yapay Zeka alanında yapıldığı görülmektedir.

#### k. Armoni arama ile yapılmış yayınların analizleri

Yapılan analizlere bakıldığında Armoni arama üzerine 2001 ile 2017 yılları arasında 1418 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 270 yayınlı en çok yayın 2016 yılında gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda bu yayın sayısı 2016 yılında yapılmış toplam yayın sayısının yaklaşık onbinde 1,7 lik kısmını oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek oransal yıldır. Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 26 sı İran üzerinden yapılırken Türkiye yaklaşık % 9 luk yayın oranı ile Dünyada 4. sırada yer almaktadır. Türkiye’de bu konuda en çok yayın yapılan üniversite dünyada bu alanda yapılmış tüm yayınların % 1,69 ile Pamukkale Üniversitesidir. Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 23 ü Bilgisayarlı Yapay Zeka alanında yapıldığı görülmektedir.

#### l. Parçacık arama ile yapılmış yayınların analizleri

Yapılan analizlere bakıldığında Parçacık arama üzerine 1993 ile 2017 yılları arasında 18983 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 1370 yayınlı en çok yayın 2017 yılında gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda bu yayın sayısı 2017 yılında yapılmış toplam yayın sayısının yaklaşık binde 2 lik kısmını oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek oransal yıldır. Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 35 i Çin üzerinden yapılırken Türkiye yaklaşık % 2,7 lik yayın oranı ile Dünyada 9. sırada yer almaktadır. Türkiye’de bu konuda en çok yayın yapılan

üniversite dünyada bu alanda yapılmış tüm yayınların % 0,34 ile Erciyes Üniversitesidir. Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 26 ü Elektrik Elektronik bilim dalında yapıldığı görülmektedir.

#### m. Kedi Sürüsü ile yapılmış yayınların analizleri

Yapılan analizlere bakıldığında Kedi Sürüsü üzerine 2012 ile 2017 yılları arasında 66 adet yayın yapılmıştır. Bu alanda 22 yayınlı en çok yayın 2016 yılında gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda bu yayın sayısı 2016 yılında yapılmış toplam yayın sayısının yaklaşık yüzbinde 1,4 lük kısmını oluşturmuştur ve yapılmış en yüksek oransal yıldır. Bu alanda yapılan yayınların yaklaşık % 53 ü Hindistan üzerinden yapılırken Türkiye de sadece 2 tane yayın oranı ile Dünyada 9. sırada yer almaktadır. Türkiye’de üniversiteler üzerinden yapılmış herhangi bir yayın bulunmamaktadır. Ayrıca bu yöntem ile yapılan yayınların yaklaşık % 30 u Elektrik Elektronik bilim dalında yapıldığı görülmektedir.

#### Trend Analizleri

Tablo 1. Yapay Zeka uygulamalarının trend analizleri

Model	Y. sayısı z değeri	Y. oranı z değeri
Fuzzy	8,30	7,77
Tepe T.	8,29	7,79
Gen Al	7,83	7,69
YSA	7,76	6,89
Tabu A.	6,97	4,99
Diff. G.	6,81	6,71
Karınca K.	6,63	6,44
Anfis	6,65	6,49
Gen Prog.	6,54	5,42
Parçacık A.	5,68	5,68
Armoni A.	5,14	5,19
Dağmık A	4,63	3,27
Arı K.	4,48	4,38
Kedi Sürüsü	1,87	1,87

Bu bölümde literatürde sıklıkla kullanılan Yapay Zeka uygulamalarının hem sayısal hemde oransal değerlerinin trendleri analiz edilmiş ve tablo halinde gösterilmiştir(Tablo 1).

Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde hem oransal hemde sayısal değerlerde en yüksek artışın Bulanık Mantık üzerine yapılan çalışmalarda olduğu görülmüştür. Ayrıca Kedi Sürüsü algoritması dışında diğer tüm uygulamaların % 95 ve üzeri anlamlılık düzeyinde trendi desteklediği Kedi sürüsünde ise bu değer % 95 anlamlılık düzeyinin altında olduğu anlaşılmaktadır.

## Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmada yapay zeka uygulamaları ve kullanım alanları araştırılmaya çalışılmıştır. Seçilen yapay zeka uygulamaları üzerine yapılan çalışmaların yıllara bağlı değişimi incelenmiş ve en çok kullanılan 4 algoritma için grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca seçilen algoritmaları kullanan bilimsel makalelerin o yıl içerisinde basılan tüm bilimsel makalelere oranı incelenerek bu algoritmaların kullanım yıllara bağlı tercih edilme seviyesi tespit edilmiştir. Web of Science’de taranan dergi sayısına bağlı olarak yapılan bilimsel makalelerin sayısı da yıllara bağlı olarak bir artış göstermektedir. Aynı şekilde bu yayında incelenen algoritmaları kullanan makalelerde de bir artış söz konusudur. Gerçekçi bir trend analizi yapabilmek için

## Kaynaklar

- Adibifard, M., Tabatabaei-Nejad, S., ve Khodapanah, E. (2014). Artificial Neural Network (ANN) to estimate reservoir parameters in Naturally Fractured Reservoirs using well test data. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 122, 585-594.
- Aluclu, I., Dalgic, A., ve Toprak, Z. (2008). A fuzzy logic-based model for noise control at industrial workplaces. *Applied Ergonomics*, 39, 3, 368-378.
- Arias-Mendez, A., Warning, A., Datta, A., ve Balsa-Canto, E. (2013). Quality and safety driven optimal operation of deep-fat frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, 119, 1, 125-134.
- Arif, M., Kattan, A., ve Ahamed, S. (2015). Classification of physical activities using wearable sensors. *Intelligent Automation ve Soft Computing*, 23, 1, 21-30.
- Arslan, O., (2013). Karacaören I ve II Barajları'nın optimum işletme modeli'nin oluşturulması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

oransal değişim incelenmiş ve trend analizi hem yayın sayısı hem de bu yayınların yıllara bağlı oransal değişimleri için yapılmıştır.

Söz konusu yapay zeka uygulamalarının hangi ülkeler tarafından kullanıldığı, ülkemizin bu çalışmalar üzerindeki payı ve bu pay içerisinde hangi üniversitemizin daha çok katkısı olduğunun araştırılması da çalışmanın bir diğer katkısıdır. Son olarak seçilen yapay zeka uygulamaları üzerine yapılan çalışmaların trendsel olarak değişimleri de incelenmiştir.

İncelemeler sonucunda YSA'nın yapay zeka modelleri arasında üzerinde en çok çalışma yapılan uygulama olduğu görülmüştür. Eğilimsel olarak bakıldığında Kedi sürüsü hariç, incelenen yöntemlerin tamamının % 95 ve üzeri trende sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmaların büyük çoğunluğunun Çindeki araştırmacılar tarafından yapıldığı, ülkemizin de bu alanda genellikle ilk sıralarda yer aldığı ve yapay zeka ile ilgili uygulamalara katkı sağladığı görülmüştür. Ayrıca çalışmaların Bilgisayar Mühendisliği bilim dalında yoğunlaşması da çalışmanın bir başka sonucudur.

- Arslan, O., (2015). An Optimization Model For The Management Of Multi-Objective Water Resources Systems With Multiple Dams In Series. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24, 10, 3100.
- Arslan O., (2016). Maximizing the total power in a water resources system, *Proceedings, 12th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE2016)*, 1-8, İstanbul.
- Baccar, N., Jridi, M., ve Bouallegue, R. (2017). Adaptive Neuro-Fuzzy Location Indicator in Wireless Sensor Networks. *Wireless Personal Communications*, 97, 2, 3165-3181.
- Bahrami, M., Bozorg, H., ve Chu, X. (2018). Application of Cat Swarm Optimization Algorithm for Optimal Reservoir Operation. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*, 144, 1.
- Bilen, M., Işık, A., ve Yiğit, T. (2015). A Hybrid Artificial Neural Network-Genetic Algorithm Approach for Classification of Microarray Data., 339-342. *Malatya/Türkiye*.
- Chang, T., Talei, A., Alaghmand, S., ve Ooi, M. (2017). Choice of rainfall inputs for event-based rainfall-runoff modeling in a catchment with

- multiple rainfall stations using data-driven techniques. *Journal of Hydrology*, 545, 100-108.
- Chaudhur, S., Chowdhury, A., ve Das, P. (2018). Implementation of Sugeno: ANFIS for forecasting the seismic moment of large earthquakes over Indo-Himalayan region. *Natural Hazards*, 90, 1, 391-405.
- Chehregan, A., ve Abbaspour, R. (2017). An Improvement on the Clustering of High-Resolution Satellite Images Using a Hybrid Algorithm. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45, 4, 579-590.
- Chen, S., ve Zhang, T. (2018). Force control approaches research for robotic machining based on particle swarm optimization and adaptive iteration algorithms. *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application*, 45, 1, 141-151.
- Ebtehaj, I., ve Bonakdari, H. (2017). Design of a fuzzy differential evolution algorithm to predict non-deposition sediment transport. *Applied Water Science*, 7, 8, 4287-4299.
- Erdoğan, H., ve Ozdemir, M. (2016). Neuro-Fuzzy Approach on Core Resistance Estimation at Loss Minimization Control of Permanent Magnet Synchronous Motor. *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 22, 3, 7-12.
- Fuat, Z. (2009). Flow Discharge Modeling in Open Canals Using a New Fuzzy Modeling Technique (SMRGT). *Clean-Soil Air Water*, 37, 9, 742-752.
- Gholami, V., Booij, M., Tehrani, E., ve Hadian, M. (2018). Spatial soil erosion estimation using an artificial neural network (ANN) and field plot data. *Catena*, 163, 210-218.
- Gill, J., ve Singh, J. (2017). Energetic and exergetic performance analysis of the vapor compression refrigeration system using adaptive neuro-fuzzy inference system approach. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 88, 246-260.
- Gultekin, H., Coban, B., ve Akhlaglaghi, V. (2017). Cyclic scheduling of parts and robot moves in m-machine robotic cells. *Computers ve Operations Research*, 90, 161-172.
- Guo, X., Lu, Z., Cui, H., Lui, B., Jiannq, Q., ve Wang, S. (2018). Modelling and solving the position tracking problem of remote-controlled gastrointestinal drug-delivery capsules. *Biomedical Signal Processing and Control*, 39, 213-218.
- Haklidir, F., ve Haklidir, M. (2017). Fuzzy control of calcium carbonate and silica scales in geothermal systems. *Geothermics*, 70, 230-238.
- Haydo, P. (2018). From Morphological Analysis to optimizing complex industrial operation scenarios. *Technological Forecasting and Social Change*, 126, 147-160.
- Haznedar, B., Arslan, M., ve Kalınlı, A. (2017). Karaciğer Mikroarray Kanser Verisinin Sınıflandırılması için Genetik Algoritma Kullanarak ANFIS'in eğitilmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21, 1, 54-62.
- Kayadelen, C., Taşkiran, T., ve Günaydın, O. (2009). Adaptive neuro-fuzzy modeling for the swelling potential of compacted soils. *Environmental Earth Sciences*, 59, 109-115.
- Kendall, M. (1975). *Rank Correlation Methods*. London: Charles Griffin.
- Keskin, M., ve Taylan, E. (2009). Artificial Models for Interbasin Flow Prediction in Southern Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14, 7, 752-758.
- Kuscu, O., ve Kucuksille, E. (2011). Heuristic Methods in Vehicle Routing Systems. *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 1, 65-70.
- Lerma, N., Paredes-Arquiola, L., Andreu, J., Solera, A., ve Sechi, G. (2015). Assessment of evolutionary algorithms for optimal operating rules design in real Water Resource Systems. *Environmental Modelling ve Software* 69, 425-436.
- Liu, D., Hu, Y., Fu, Q., ve Imran, K. (2016). Optimizing channel cross-section based on cat swarm optimization. *Water Science And Technology-Water Supply*, 19, 1, 219-228.
- Ma, R., Wu, H., ve Ding, L. (2017). Artificial bee colony optimised controller for small-scale unmanned helicopter. *Aeronautical Journal*, 121, 1246, 1879-1896.
- Majumde, P., ve Eldho, T. (2016). A New Groundwater Management Model by Coupling Analytic Element Method and Reverse Particle Tracking with Cat Swarm Optimization. *Water Resources Management*, 30, 6, 1953-1972.
- Mann, H. (1945). Non-parametric test against trend. *Econometrika*, 13, 245-259.
- Marwana, A., Zhoua, M., Abdelrehim, M., ve Meschke, G. (2016). Optimization of artificial ground freezing in tunneling in the presence of seepage flow. *Computers and Geotechnics*, 75, 112-125.
- Niu, W., Feng, Z., Cheng, C., ve Zhou, J. (2018). Forecasting Daily Runoff by Extreme Learning Machine Based on Quantum-Behaved Particle Swarm Optimization. *Journal of Hydrologic Engineering*, 23, 3.

- Nourani, V. (2017). An Emotional ANN (EANN) approach to modeling rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*, 544, 267-277.
- Özdemir, G., Aydemir, E., Olgun, M., ve Mulbay, Z. (2016). Forecasting of Turkey natural gas demand using a hybrid algorithm. *Energy Sources Part B-Economics Planning And Policy*, 11, 4, 295-302.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları*. İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim.
- Pellet, N., Giordano, F., Dar, M., Gregori, G., Zakeeruddin, S., Maier, J., ve Gratzel, M. (2017). Hill climbing hysteresis of perovskite-based solar cells: a maximum power point tracking investigation. *Progress in Photovoltaics*, 25, 11, 942-950.
- Perez, C., Vega-Rodriguez, M., Reder, K., ve Floerke, M. (2017). A Multi-Objective Artificial Bee Colony-based optimization approach to design water quality monitoring networks in river basins. *Journal of Cleaner Production*, 166, 579-589.
- Sahin, U., ve Bedirhanoglu, I. (2014). A Fuzzy Model Approach to Stress-Strain Relationship of Concrete in Compression. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 6, 4514-4527.
- Salim, O. (2017). New neuro-fuzzy system-based holey polymer fibers drawing process. *Aıp Advances*, 7, 10.
- Saplıoğlu, K., Kilit, M., ve Yavuz, B. K. (2014). Trend analysis of streams in the western mediterranean basin of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23, 1a, 313-324.
- Saplıoğlu, K., Küçükerdem, T., ve Alqaysi, R. (2017). Akdeniz Bölgesi akarsularının su kalitesi sınıflarının ve trendlerinin belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik dergisi*, 8(1), 33-42.
- Saplıoğlu, M. (2010). *An Accident Prediction Model for Urban Uncontrolled Intersections*. Isparta, Turkey : Natural and Applied Sciences, Süleyman Demirel Uni. (in Turkish).
- Seferoglu, H., ve Modiano, E. (2016). Separation of Routing and Scheduling in Backpressure-Based Wireless Networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 24, 3, 1787-1800.
- Shabani A, M., ve Mazahery, A. (2011). The ANN application in FEM modeling of mechanical properties of Al-Si alloy. *Applied Mathematical Modelling*, 35, 5707-5713.
- Shen, Q., Shi, W., ve Kong, W. (2008). Hybrid particle swarm optimization and tabu search approach for selecting genes for tumor classification using gene expression data. *Computational Biology and Chemistry*, 32, 1, 53-60.
- Song, M., Chen, K., ve Wang, J. (2018). Three-dimensional wind turbine positioning using Gaussian particle swarm optimization with differential evolution. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 172, 317-324.
- Sun, H., Yang, C., Lin, C., Pan, J., Snasel, V., ve Abraham, A. (2015). A New Cat Swarm Optimization with Adaptive Parameter Control. *Genetic And Evolutionary Computing*, 329, 69-78.
- Temel, S., Unaldı, N., ve Kaynak, O. (2014). On Deployment of Wireless Sensors on 3-D Terrains to Maximize Sensing Coverage by Utilizing Cat Swarm Optimization with Wavelet Transform. *Ieee Transactions On Systems Man Cybernetics-Systems*, 44, 1, 111-120.
- Termeh, S., Kornejady, A., Pourghasemi, H., ve Keesstra, S. (2018). Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic a, lgorithms. *Science of The Total Environment*, 615, 438-451.
- Toksoz, D., Yilmaz, I., Nefeslioglu, H., ve Marschalko, M. (2016). A fuzzy classification routine for fine-grained soils. *Quarterly Journal Of Engineering Geology And Hydrogeology*, 49, 4, 344-349.
- Turkeli, E., ve Ozturk, H. (2017). Optimum design of partially prestressed concrete beams using Genetic Algorithms. *Structural Engineering and Mechanics*, 64, 5, 579-589.
- Ülengin, F., Işık, M., Ekici, Ş., Özaydın, Ö., Kabak, Ö., ve Topcu, E. (2017). Policy developments for the reduction of climate change impacts by the transportation sector. *Transport Policy*, 61, 36-50.
- Wu, S., Chan, T., Hsieh, M., ve Lin, C. (2016). Quantum evolutionary algorithm and tabu search in pressurized water reactor loading pattern design. *Annals of Nuclear Energy*, 94, 773-782.
- Xie, X., He, F., Xu, D., Dong, J., Cheng, S., ve Wu, Z. (2012). Application of large-scale integrated vertical-flow constructed wetland in Beijing Olympic forest park: design, operation and performance. *Water and Environment Journal*, 26, 1, 100-107.
- Yildirim, A., Gunes, F., ve Belen, M. (2017). Differential Evolution Optimization Applied To The Performance Analysis Of A Microwave Transistor. *Sigma Journal Of Engineering And Natural Sciences*, 8, 2, 135-144.

## **Investigation of some artificial intelligence applications and their trends used in scientific studies**

### **Extended abstract**

*Using artificial intelligence (AI) algorithms to solve the problems encountered in modelling and optimization of several scientific areas, have an increasing trend day by day. Modelling and optimization studies used new algorithms have also been introduced in literature by development in the computer technology. In the present study, some artificial intelligence algorithms used in the literature were investigated. Artificial Neural Network, Fuzzy Logic, Adapted Neuro-Fuzzy Inference System, Genetic Algorithms, Artificial Bee Colony, Ant Colony, Differential Evolution, Particle Swarm, Cat Swarm, Harmony Search, Tabu Search, Scatter Search and Hill Climbing algorithms were investigated in the study.*

*Some information was collected about articles that use investigated algorithms from Web of Science Database. The number of articles that use artificial intelligence algorithms, the ratio of these numbers to total number of articles, contribution of countries, the number of articles published by universities in Turkey and contribution of science areas were investigated in this study. Finally, trends of published article numbers were investigated by Mann-Kendall. The potential of publishing in the near future of the studies use the investigated algorithms were discussed.*

*In the study some artificial intelligence applications and their usage area were investigated. Findings about four of the most commonly used algorithms were graphically presented and findings about the other algorithms were also presented. Trend analysis was performed for the number of articles using AI algorithms. But, the numbers of scientific articles have been increased by the increase the number of journal indexed in Web of Science Database. In the same manner, the numbers of articles that use the investigated algorithms have*

*been increased by year. Thus, ratios of article numbers using AI algorithms to total number of articles were used for realistic trend analysis.*

*Which countries use these mentioned artificial intelligence applications and the share of our country on this study and the search of which*

*universities in our country contribute much to them is another contribution of the study.*

*As a result of researches, it is seen that YSA is the most commonly searched application among artificial intelligence models. When it is searched from a dispositional point of view, it is noticed that all of the methods searched have a 95% or more trend except for the cat swarm. Most of the studies are done by the Chinese researchers, but our country is also on the front ranges and our country contributes to the applications of artificial intelligence. Also the studies focusing on Computer Engineering Department is another result of the study.*

**Keywords:** Artificial Intelligence Application; Mann-Kendall; Artificial Neural Network; Fuzzy Logic; ANFIS; Genetic Algorithms;



# Genetik İfadeli Programlama İle Taşkın Öteleme Modellemesi

**Şafak Ok ORAL**

DSİ, Diyarbakır

[safakok@hotmail.com](mailto:safakok@hotmail.com) ORCID:0000-0001-8130-4249

**Fevzi ÖNEN\***

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

[fonen@dicle.edu.tr](mailto:fonen@dicle.edu.tr) ORCID:0000-0002-2368-1035, Tel: (412) 241 10 00 (3541)

Geliş: 27.02.2018, Kabul Tarihi: 16.04.2018

## Öz

Akarsuyun belirli bir kesimine ve ya hazneye giren taşkın dalgası su seviyesinin yükselmesine sebep olmakta ve bu değişim taşkın öteleme yöntemi ile incelenmektedir. Taşkın öteleme bir akarsuyun kesitinde taşkın verilerini kullanarak taşkın değişimini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada 4 Kasım 1995 yılında Aksu Akarsuyunun bir kolu olan Sütçüler Değirmendere' de meydana gelen, can ve mal kaybına yol açan Sütçüler taşkını, Taşkın öteleme metodu kullanılarak modellenmiştir. Yapay zekâ (Artificial intelligence) alanındaki ilerlemeler, yeni algoritma ve modelleri kullanarak mühendislik çalışmalarında (Su kaynakları, Hidrolik ve Hidrolojik olaylarda) fırsatlar sunmaktadır. Bu çalışma, taşkın ötelenmenin modellenmesine bir alternatif olarak genetik programlamanın bir uzantısı olan Genetik ifadeli Programlama (GEP) metodunu sunmaktadır. Böylece taşkın öteleme tahmininde GEP metodu kullanılarak yeni modeller geliştirilmiştir. GEP yönteminde giriş debisi (I), çıkış debisi (Q) ve zaman (T) parametreleri kullanılmıştır. Modelin performansı determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (RMSE) olmak üzere iki uygunluk ölçüsü ile değerlendirilmiştir. Model tabanlı GEP'in, taşkın öteleme tahmininde Muskingum modeli ve sonlu farklar metotlarına dayanan diğer çözüm tekniklerinden daha fazla performansa sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Taşkın öteleme, Doğal akarsular, GEP, Modelleme

\* Yazışmaların yapılacağı yazar



## 1.Giriş

Bir yağıştan doğan akışların ilk evresi genellikle bir havzada başlar. Havza akışı havza alanını kaplayan bir su tabakasının akması olayıdır. Havzada akış herhangi bir tür yağıştan ya da kar erimesinden meydana gelebilir. Şiddetli yağmurlardan ya da kar erimelerinden doğan havza akışları genellikle büyük debiler ortaya çıkarır. Bu durumda özellikle ova kesimlerde sular geniş alanlara yayılır ve büyük hızlarla akar. Akarsu havzalarında debinin akarsu yatak kapasitesini aşması durumunda sular yatak dışına taşar ve bu durum taşkın olarak adlandırılır. Taşkınları oluşturan ve büyük debilere yol açan bu yağışlar genellikle bahar aylarında görülür. Taşkınlar suyun zararlarından korunmak ve potansiyelinden yararlanmak açısından, su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmalarında büyük önem taşır. Özellikle baraj, bağlama ve su kuvveti tesislerinde taşkın debilerinin bilinmesi büyük önem taşır. Bütün bunlardan dolayı çeşitli amaçlarla kullanılacak taşkın hidrograflarının elde edilebilmesi için taşkınların meydana geliş mekanizmasının iyice anlaşılması ve mekanizmayı iyi temsil eden matematik modellerin kurulması gerekmektedir (Ağralıoğlu, 1981).

Taşkınlar Ülkemizde en fazla maddi hasarlara sebep olan doğal afetlerdendir. İklimsel olarak Ülkemiz yarı kurak iklim bölgesinde yer almaktadır. Ancak bu özellik yağışlarda yer yer değişiklik göstermektedir. Örneğin yıllık ortalama yağış miktarı Türkiye genelinde 643 mm iken Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 250 mm, Doğu Karadeniz Bölgesinde ise ortalama yağış miktarı 3000 mm'yi bulabilmektedir. Özellikle ilkbahar mevsiminde kar erimesi ve yoğun yağışlar taşkınlara neden olmaktadır. Yaz aylarında da ani taşkın olayları görülebilmektedir. Karadeniz, Akdeniz ve Batı Anadolu bölgelerinde daha çok taşkınlar görülmektedir. Bu yerlerin topografyası, bitki örtüsü, yerleşim şekli ve yağış rejimleri taşkın olayına etki etmektedir.

Taşkın dalgası akarsu havzasında, biriktirme haznelerinde ilerlerken su seviyesi artar. Suyun bir kısmı bu şekilde geri tutulurken diğer kısmı mansaba doğru gider. Membadaki taşkın dalgası

yayılarak mansaba doğru ilerler. Taşkın dalgası geçişi esnasında zamana bağlı bir miktar ötelenmişinden bu olaya “Taşkın Ötelenmesi” denir. Yani taşkın ötelenmesi, taşkın dalgasının akarsu havzasında, biriktirme haznelerinde ilerlerken zamana ve konuma bağlı değişiminin matematiksel olarak belirtilmesidir. Diğer bir ifade ile herhangi bir akarsu kesitine giren taşkın dalgasının bu kesitin sonundaki ya da mansabındaki farklılıkları taşkın ötelenmesi ile hesaplanır. Taşkın ötelenmesi en büyük debinin değerinde azalma ve meydana geliş zamanında gecikme olarak iki önemli netice elde etmemizi sağlar. Sorun kendi başına, taşkın dalga sorununun kendine ait hususları da ele alarak, açık kanallarda kararlı olmayan akım koşullarının bir uygulamasıdır. Bir taşkın dalgasının hareketi, düzensiz açık kanal akımları prensipleri, kütlelin korunumu ve momentum denklemi ile ele alınır. Hareketin denklemi, momentum denklemini; süreklilik denklemi, kütlelin korunumunu oluşturur. Bu denklemler daha analitik çözümü bitmemiş, bir yarı doğrusal kısmi differansiyel tekniklerin ilerlemesiyle taşkın öteleme problemlerinin kapalı çözümlerine ilerlemesini açıklamaya yarayan, iki fiziksel değişken mevcuttur. Bunlar; Taşkın dalgasının dikkate alınan yol boyunca hızı ve akım seviyesindeki düşmenin hızı ya da taşkın dalgasının sönümlemesidir (Oral, 2017).

Taşkın kontrolü için taşkın ötelenme hesaplarının birçok faydası vardır. Akarsuyun belirli bir kesitindeki taşkın büyüklükleri bilindiği zaman, taşkın ötelenmesi hesapları ile bu noktanın kilometrelerce mansabındaki bir noktada taşkın büyüklükleri saatlerce hatta günlerce önce hesaplanabilir. Bu durumda can ve mal kaybının azaltılması için gerekli zaman kazanılır ve gerekli tedbirler alınarak taşkın zararlarının azaltılması sağlanır. Taşkın ötelenmesi hesapları ile akarsu boyunca taşkın debilerinin ve su seviyelerinin değişimi hesaplanabildiğinden taşkın koruma yapılarının, örneğin seddelerin, boyutları emniyetli bir şekilde belirlenir. Baraj göllerinde taşkın ötelenmesi ile göle giren taşkın hidrografi bilindiğinde dolu savaktan çıkan debiler hesaplanabilir. Bu çalışmalar sonunda dolu

savak boyutları, batardo yüksekliği, baraj gölündeki en yüksek su seviyesi, baraj yüksekliği, baraj gölü altında kalacak toprak ve su altında kalma süreleri belirlenmiş olur. Yağmur suyu kanalizasyon şebekelerinde taşkın ötelenmesi hesapları yapılarak sağanaklardan sonraki taşkın dalgasının şebeke boyunca değişimi belirlenir. Böylece boru ve kanalların nerede olacağı, şehrin hangi bölgelerinde su baskınları olacağı tespit edilir (Erkek ve Ağırlioğlu, 2010).

Denrou vd. (1978), taşkın ötelenmesi problemlerinin çözümünde sonlu fark şemaları ve belirli yöntemlerin kullanıldığını, sonlu eleman metotlarının sadece iki boyutlu yüzeysel akım denklemlerinde kullanıldığını ifade etmişlerdir. Aynı zamanda taşkın ötelenmesi için sayısal yöntemleri de çalışmalarında ele almışlardır. Tingsanchali ve Manandhar (1985), durgun suyun etkileri ile yan derelerin debilerini ihmal etmeden bir taşkın ötelenmesi için analitik difüzyon modeli üzerine çalışmışlardır. Fread ve Lewis (1991), çalışmalarında, yüksek maliyetli ve zaman alan bir yöntemle hazırlanan detaylı en kesit verilerini ortadan kaldırmak amacıyla dinamik ötelenme modeli parametrelerinin belirlenebilmesini sağlayacak bir model geliştirmişlerdir. Ülke (2003) Kasım 1995 yılında Aksu çayının bir kolu olan Sütçüler Değirmendere’de can ve mal kaybına yol açan taşkın olayını incelemiştir. Yataкта oluşan taşkın pik değerlerinin matematiksel modellenmesinde hidrolojik metotlardan biri olan Muskingum Modelini kullanmıştır. Atalay (2008), hidrolik ve hidrolojik metotlar üzerinde çalışmalar yapmıştır. Taşkın hidrografının elde edilmesiyle ilgili kinematik Dalga Metodu ile Muskingum Modelini karşılaştırmıştır. Özdoğan (2010), Antalya İli sınırları içinde doğarak, Manavgat İlçesinde Akdeniz’e dökülen Alara Çayında ölçülen giriş akımı verilerini kullanarak kinematik, difüzyon ve dinamik taşkın ötelenmesi metotları ve Muskingum-Cunge metodu ile taşkın ötelenmesi hesaplarını yapmış, elde ettiği sonuçları akarsu kesitinin mansabında ölçülen verilerle karşılaştırmıştır. Karahan ve Güraslan (2014), Sütçüler taşkını kinematik dalga yaklaşımı kullanarak modellemişlerdir. Taşkın öteleme çözümlerini

Crank-Nicolson, MacCormack, Lax-Wendroff ve Sauljev sonlu fark şemalarından faydalanmışlardır. Tetkik edilen taşkın vakası için sonlu fark şemaları ile bulunan pik debi değerlerinin ve pik zamanının ölçüm sonuçlarıyla uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Bagatur ve Hamidi (2014), Baraj inşaatından sonra mansap taşkın problemlerinin akış özelliklerini değerlendirmişlerdir. Önen ve Oral (2017), sütçüler taşkını Genetik İfadeli Programlama ile modellemesini yapmışlardır. Onen ve Bagatur (2017), Genetik İfadeli Programlama ve Regresyon modelini kullanarak Gumbel Dağılımı için Taşkın frekans faktörünün tahmini ile ilgili çalışma yapmışlardır. Ayrıca Bağatur ve Önen (2018), doğal kanallarda taşkın ötelemesi için Genetik İfadeli Programlama (GEP) modelinin potansiyelini ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada, 4 Kasım 1995 yılında Isparta ilinin güneyinde yer alan Sütçüler İlçesinde meydana gelen Sütçüler taşkını Genetik İfadeli Programlama (GEP) yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Önerilen Genetik İfadeli Programlama yaklaşımı ile hesaplanan çıkış debi değerler gerçek taşkın hidrografının çıkış debi değerleri ile karşılaştırılmış ve modelin performansı için de Determinasyon Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Karekök hatası (RMSE) kullanılmıştır. Ayrıca önerilen GEP Model yaklaşımından elde edilen taşkın değerleri, hidrolik taşkın öteleme modellerinden elde edilen değerlerle ve Hidrolojik taşkın öteleme metodu olan Muskingum model değerleriyle karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Sütçüler ilçesi, Isparta iline bağlı olup güneyinde bulunmaktadır. Sıcak ve ılıman bir iklim etkili olmaktadır. Sütçüler ilçesine Kış aylarında yaz aylarından çok fazla yağış düşmektedir. Sütçüler ilçesinin yıllık ortalama sıcaklığı 18.2 °C iken yıllık ortalama yağış miktarı 966 mm’dir.

4 Kasım 1995 günü saat 15.00’te, yağış önce dolu şeklinde başlamıştır. Daha sonra yağmur olarak yağış kesintisiz 4 saat

süresince çok sert bir halde sürmüştür. Yağışın dolu olması akışı geciktirdiğinden yağışın yağmur halini alması ile beraber yağış hızla akışa geçmiştir. Uzun süreli yağış Sütçüler’de çok fazla yerleşim yeri ile alt yapı tesislerinde büyük zararlara neden olmuştur. Diğer yönden Değirmendere’nin taşkın esnasında çokça kabarması neticesinde; üzerinde bulunan köprüler fazla suyu geçirememiş, yatağın yakınında bulunan balık üretim çiftliği zarara uğramıştır. Bu afetin sonunda birçok ev hasara uğramış; bazı alanlarda (cadde, sokak, bahçe) çukurlar ve yarıklar açılmış; dağdan kayalar, taşlar koparak ilçeye doğru gelmiştir. Boğazköy yakınındaki Zengi Deresinde bulunan köprünün yıkılmasından ötürü sel meydana gelmiştir. Bu civarda bulunan belediye otobüsü sele kapılarak sürüklenmiş ve yolculardan 4’ü hayatını kaybetmiştir.

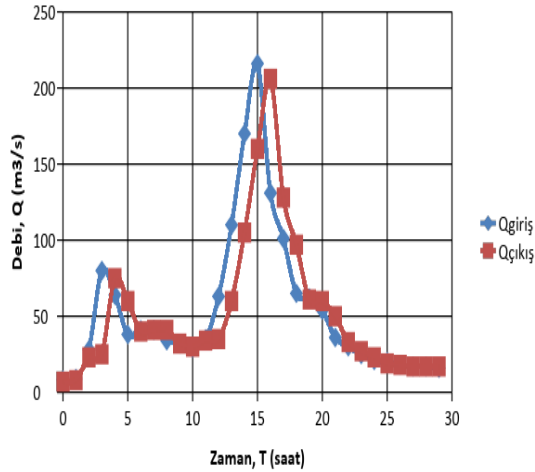
Bölgeye düşen yağış miktarı, yörede bulunan Devlet Meteoroloji İstasyonunun kapanmasından dolayı yapılamamıştır. Aynı havzada bulunan akım rasat istasyonlarından yararlanılarak düşen yağış miktarı belirlenmiştir. Böylelikle Sütçüler ilçesine 4 saatte düşen yağış miktarı 111.4 mm olarak ölçülmüştür. 9-89 istasyonu Değirmendere, Sütçüler ve Boğazköy drenaj alanlarını da kapsayan toplam 313.9 km<sup>2</sup> yağış alanına sahiptir. Taşkın sırasında 9-89 istasyonunun yer aldığı derede 5.90 m yüksekliğinde bir kabarma gerçekleşmiş, akım gözlem istasyonu tüm teçhizatı ile birlikte kaybolmuştur. Taşkın olayından sonra yapılan incelemede, bu dereye geçen debinin yaklaşık 456.64 m<sup>3</sup>/s olduğu hesaplanmıştır. Bu debi değerinin 25 yıllık tekerrür debi ile eş değerde olduğu tespit edilmiştir. Sütçüler az bir mesafede hızlı akışın tesirinde kalmıştır. Uzun mesafede ise taşkın suyu, tüm kollarda drenajın gerçekleştiği Azmak Deresine gelerek Değirmendere’ye dökülmüştür. Aynı zamanda taşkın olayı, zeminin doygunluk derecesine varması ile drenaj alanı dışında kalan ve taşkın kollarının varmadığı Triyas çökelleri üzerinde yüzeysel akışların olması ile heyelanları oluşturmuştur.



Şekil 1. Taşkın havza alanı (Ülke, 2003)

Sütçüler’de 4 saat aralıksız yağın yağışın oluşturmuş olduğu yağış miktarı 111.4 mm olarak ölçülmüştür. Bu değer 25 yıllık yağış-siddet-süre tekerrür değerlerine tekabül etmektedir. Taşkın esnasında akarsudaki su yüksekliği 6.00 m’ye kadar yükselmiş, buna tekabül eden debi değeri ise 206 m<sup>3</sup>/s’ye varmıştır. Şekil 1 de gösterilen 9-88 ve 9-89 no’lu istasyonlar arasında taşkın ötelenme hesapları yapılmıştır.

Sütçüler ilçe merkezi ile taşkın geliştiği drenaj alanının en üst seviyesi arasındaki kot farkı 320 m olup mesafesi ise 50 m’dir. Yaklaşık 2/3 gibi bir yamaç eğiminde akış hızına varan taşkın aynı hızla Sütçüler’den geçmiştir. Sonrasında genişleyen topografyaya bağlı olarak taşkın, ilçe merkezi ile Değirmendere arasındaki 220 m’lik kot farkını 2 km de geçerek uzun mesafede tüm yan kolların boşaldığı Azmak Deresinde birleşerek, Değirmendere’ye akmıştır. 9-88 ve 9-89 istasyonlarında ölçülen giriş ve çıkış debi değerleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 9-88 ve 9-89 istasyonları ölçüm değerleri (Ülke, 2003)

## 2.2 Yöntem

### 2.2.1 Genetik İfadeli Programlama

Genetik İfadeli Programlama (GEP), Genetik Algoritmaların bir uzantısı olarak kabul edilen, özelleştirilerek uygulanan, ele alınan problemin yapı taşlarından oluşturulan muhtemel ilkel çözüm tarzlarının belli bir uyum ölçütüne göre evrimleşerek en iyileşmesini amaçlayan bir evrimsel algoritma tekniğidir (Koza, 1992). Genetik Programlamada amaç evrim teorisinden esinlenerek oluşturulan Genetik Algoritmalar kullanılarak, kullanıcı tarafından tanımlanmış görevlerin yerine getirilmesidir (Hatunoğlu, 2010).

GEP, genetik algoritmalara (GA) ve genetik programlama (GP)'ye dayanan bir algoritmadır. Bu algoritma ile sabit uzunluktaki doğrusal kromozomlarla kodlanmış bir bilgisayar programı geliştirilir. GEP 'in temel amacı, GEP modelinde kullanılan bir veri kümesini kullanarak bir matematiksel fonksiyon geliştirmektir. Matematiksel denklem için GEP işlemi, GA'nın genetik operatörlerinin birçoğuyla sembolik regresyonu gerçekleştirir. Süreç belli sayıda bireyin kromozomlarının üretilmesi ile başlar (başlangıç nüfusu). Ardından bu kromozomlar tanımlanır ve her bireyin uygunluğu bir dizi sağlıklı duruma karşı değerlendirilir. Daha sonra bireyler, değişikliklerle çoğalma özelliklerine göre seçilir. Bu yeni bireyler, genomların ifadesi, seçim ortamının çatışması, seçim ve yeniden üretim ile aynı

gelişim süreçlerine tabi tutulur. Süreç belirli bir nesil için veya iyi bir çözüm bulunana kadar tekrarlanır (Ferreira, 2001, 2004, 2006).

### 2.2.2 GEP Modelinin Bileşenleri

Başlangıç nüfusu için belirlenmiş bireylerin kromozomlarının herhangi bir nesliyle süreç başlar. Daha sonra bu kromozomlar sentezlenir ve her bir bireyin uygunluğu, uygunluk dizinimi aleyhinde dönüşür (Çevresel Etki). Bireyler daha sonra yeni özellikli soylara, değişikliklere göre yeniden üretim için kendi uygunluklarına göre seçilirler. Yeni bireyler aynı gelişim süreçlerinden geçmektedirler: genomların sentezi, çevresel etkiye maruz kalma, seçim değişiklik üretimi. Süreç, nesil kesinleşene kadar ya da iyi bir çözüm bulunana kadar devam eder.

GEP'in iki ana unsuru kromozomlar ve ifade ağaçlarıdır (ETs). Kromozomlar matematiksel bir ifadeyi temsil eden bir veya daha fazla genden oluşabilir. Bir genin matematiksel kodu, Karva Dili olarak adlandırılan, genlerin dili ve ET'lerin dili gibi iki farklı dilde ifade edilir. GEP genleri baş ve kuyruk adı verilen iki kısımdan oluşur. Baş kısmı bazı matematiksel operatörler, değişkenler ve sabitler içerir ve matematiksel bir ifadeyi kodlamak için kullanılır. Terminal sembolleri ihtiva eden değişkenler ve sabitler kuyruğa dâhildir. Baştaki terminal semboller matematiksel bir ifadeyi açıklamak için yetersiz kalırsa ek semboller kullanılır.

### 2.2.3 GEP Modelinin Gelişimi

Taşkın ötelemesini tahmin edebilmek için geliştirilen matematiksel ifade, GEP modellerinin geliştirilmesinin asıl amacı olmuştur. Böylece GEP modelinin geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada GEP modelinin iki ana girdi parametresi (giriş debisi ve zaman) vardır.

GEP modelimizi oluşturmak için uymamız gereken beş ana adım mevcuttur ve ilk adım uygunluk (fitness) fonksiyonunun belirlenmesidir. Bu problem için, bir programın uygunluğu aşağıdaki ifadeyle ölçülür:

$$f_i = \sum_{j=1}^M c_i(M - |C_{i,j} - T_j|) \quad (1)$$

Burada  $M$ =seçim aralığı;  $C_{i,j}$ =fitness durumu  $j$  için bireysel kromozom  $i$  tarafından döndürülen değer ( $C_i$  fitness durumlarından); ve  $T_j$ =fitness durumu  $j$  için hedef değer.  $C_{i,j} - T_j$  (Hassasiyet) 0.01'den küçük veya eşitse, hassasiyet sıfıra eşittir. Bu durumda,  $M=100$  ve dolayısıyla  $f_{\max}=1,000$  kullanılır. Bu tür uygunluk fonksiyonunun avantajı, sistemin kendisi için en uygun (optimum) çözümü bulabilmesidir (Ferreira, 2001).

İkinci önemli adım, kromozomları oluşturmak için  $F$  fonksiyon ve  $T$  terminal kümesini seçmekten oluşur. Bu problemde terminal seti, bağımsız değişkenden oluşur. Uygun fonksiyon kümesinin seçiminde gerekli tüm fonksiyonları içerecek şekilde iyi bir tahmin yapılır. Bu durumda dört temel aritmetik işlem (+, -, \*, /) ve bazı temel matematiksel fonksiyonlar ( $1/x$ ,  $x^2$ ,  $x^{0.5}$ ) kullanılmıştır.

Üçüncü adımda, kromozomal yapıyı, yani baş kısmın uzunluğu ve gen sayısını belirlemektir. Dördüncü büyük adım, bağlantı fonksiyonunu seçmektir (toplama, çıkarma, çarpma bölme). Beşinci büyük adım ise, varyasyona ve oranlara neden olan genetik operatör setini seçmektir. En uygun GEP modelinin parametreleri ile tüm genetik operatörlerin (mutasyon, transpozisyon ve rekombinasyon) bir birleşimi kullanılmıştır (Güven ve Günel, 2008).

Bu çalışmada en iyi GEP modelini belirlemek için yapılan denemelerden sonra baş uzunluğu,  $h=8$  ve kromozom başına 3 gen seçilmiştir. Bağlantı fonksiyonu olarak da çarpma kullanılmıştır. Son olarak tüm genetik operatörlerin birleşimi genetik operatörler kümesi olarak kullanılmıştır. GEP modelinin eğitim parametreleri Tablo 1 de verilmiştir.

Bu çalışmada GEP modeli, Muskingum modelinin kullanılmasına bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Böylece GEP modeli Muskingum taşkın parametrelerine bağlı kalmadan geliştirilmiştir. Bu model sadece giriş (I), zaman (T) ve çıkış (Q) parametrelerini içermektedir. Bütün parametreler tanımlandıktan sonra farklı modeller oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada, taşkın öteleme tahmini için güçlü hesaplama yazılım

paketi olan GeneXproTools 4.0 programı kullanılmıştır (Ferreira, 2006). Bu program ile taşkın hesabı için açık matematiksel ifade verilmektedir. Sınırlanan ölçüt maksimum uygunluk fonksiyonu olan RMSE dir. Program birçok nesil için çalıştırılmış ve uygunluk fonksiyonunun gelişim değerinde (RMSE) herhangi bir gelişme olmadığında durdurulmuştur.

Tablo 1. Modellemede kullanılan değişkenler

P1	Fonksiyon Seti	+, -, x, /, $\sqrt{\quad}$ , exp, $x^2$ , $x^3$ , $\sqrt[3]{\quad}$ , $1/x$
P2	Gen Sayısı	3
P3	Başlık Sayısı	8
P4	Bağlantı Fonksiyonu	Çarpma
P5	Jenerasyon Sayısı	Değişken
P6	Kromozomlar	30-45
P7	Mutasyon oranı	0.044
P8	Ters çevirme oranı	0.1
P9	Tek nokta yeni kombinasyon oranı	0.3
P10	İki nokta yeni kombinasyon oranı	0.1
P11	Gen yeniden kombinasyon oranı	0.1
P12	Gen yer değiştirme oranı	0.1

#### 2.2.4 GEP Modelinin Çalışması

Model çalışmalarının başında, çoklu hidrograf için oluşturulan modelden uygun sonuçlar elde edilememiştir. Bu nedenle, çoklu hidrograf iki ayrı hidrograf olarak incelenmiştir. Böylece, daha efektif model elde edilmiştir. Önerilen GEP modelinin basitleştirilmiş analitik formu, sırasıyla birinci ve ikinci çıkış hidrografı olarak ifade edilmiştir.

Model I-a için elde edilen formül:

$$Q = \exp\left(\frac{1}{\left(\left(\frac{d[1]}{d[0]} + G1C1\right) + (d[1] + G1C0)\right)}\right) * \left(\left(\text{pow}(G2C1, (1.0/3.0))\right) \left(G2C0 + d[1]\right)\right) / \left(\left(d[1] - G2C1\right)\right) + d[0] * \exp\left(\frac{1}{\left(\left(d[1] + G3C0\right)\right) \left(\left(d[0] + G3C1\right) / \exp(d[1])\right)}\right) \quad (2)$$

formüldeki sabitler G1C0=6.26, G1C1 = 5.77, G2C0 = -7.893647, G2C1 = 5.27, G3C0 = -9.16, G3C1 = -1.27 dir ve Gerçek değişkenler d[0]=I, d[1]=T dir. İlgili değerler yerine bırakıldıktan sonra denklemin son hali:

$$Q = \left[ e^{(5.77T/(5.77-5.77)) + (5.77T)/(T+6.26)} + (T+6.26) \right] * \left[ \frac{(5.27)^{1/3} (-7.89+T)}{(1/T-5.27+I)} \right] * \left[ e^{(1/(T-9.16)) \left( (T-1.27)/e^T \right)} \right] \quad (3)$$

olarak elde edilmiştir. Burada I, giriş debisi Q, çıkış debisi ve T zaman olarak ifade edilmiştir.

Model I-b için elde edilen formül:

$$Q = \left( \frac{1}{\left( \left( \sqrt{d[0]} - d[1] \right) - (d[1] + G1C0) \right)} \right) \left( \frac{1}{G1C0} \right) * \left( d[0] - \left( \frac{1}{\left( \left( G2C1 - d[0] \right) - (G2C0 d[1]) \right) / (d[0] + d[1])} \right) \right) * \left( \sqrt{d[0] - G3C1} + (d[0] + d[1]) \right) + \left( \left( G3C1 - G3C0 \right) / (d[1] - G3C1) \right) \quad (4)$$

formüldeki sabitler G1C0=-6.74, G1C1 = -6.68, G2C0 = -7.61, G2C1 = -9.41, G3C0 = -0.48, G3C1 = 9.98 dir. Gerçek değişkenler d[0]=I, d[1]=T dir. İlgili değerler yerine bırakıldıktan sonra denklemin son hali:

$$Q = \left[ \frac{1}{\left( \sqrt{I-T} - (T-6.74) \right) - 1/(6.74)} \right] * \left[ \frac{I - (2I/(-9.41-I) + (7.61T))}{(T-9.98)^{0.5} + (10.46/(T-9.98))} \right] \quad (5)$$

olarak elde edilmiştir. Burada I, giriş debisi Q, çıkış debisi ve T zaman dir.

3 denkleminde iki tane girdi değeri (I ve T) bulunmakta ve ilk on saat (0≤T≤10) göz önünde bulundurulmuştur. 5 denkleminde ise iki tane girdi değeri (I ve Q) bulunmakla birlikte ve 11-29 saatleri (10<T≤29) göz önünde bulundurulmuştur.

### Model II

$$Q = \left( \frac{1}{\left( \left( d[1] + \left( \left( d[0] + G1C1 \right) - \exp(G1C0) / \exp(G1C0) \right) \right) \right) * \left( d[1] + \frac{1}{\left( \left( G2C1 - \left( \frac{1}{G2C0} \right) d[1] \right) \right)} \right) \right) * \left( d[0] + \left( \text{pow}(d[1], (1.0/3.0)) - (G3C0 - d[1]) \right) / \left( \left( G3C1 + G3C1 \right) + d[1] \right) \right) \quad (6)$$

Formüldeki sabitler G1C0=-3.67, G1C1 = 9.97, G2C0 = 6.48, G2C1 = -3.39, G3C0 = -8.15, G3C1 = -7.88 dir. Gerçek değişkenler d[0]=I, d[1]=T dir. İlgili değerler yerine bırakıldıktan sonra denklemin son hali:

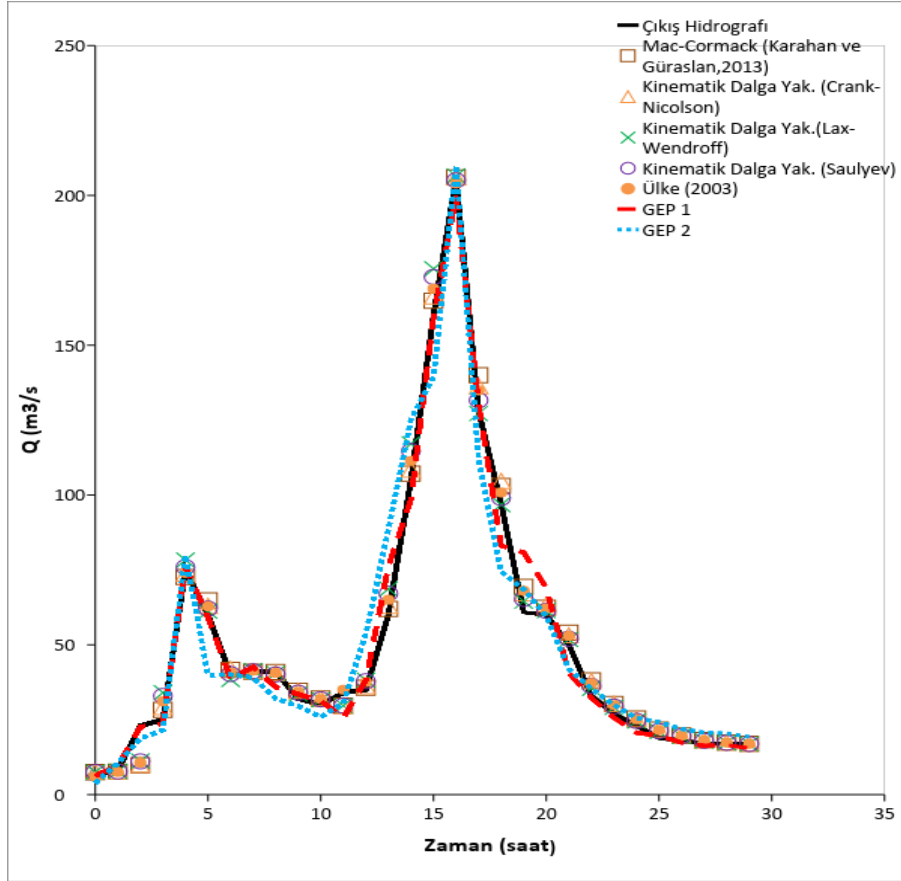
$$Q = \left[ \frac{1}{\left( T + (I + 9.97 - e^{3.67}) / e^{3.67} \right)} \right] * \left[ \frac{T + 1}{\left( -3.39 - 1/16.48 - T \right)} \right] * \left[ \frac{I + (T^{0.33} + 8.15 + T)}{(T - 15.76)} \right] \quad (7)$$

Burada I, giriş debisi Q ve çıkış debisi ve T zaman dir. 7 denkleminde de iki tane girdi değeri (I ve T) bulunmakta ve 0-29 saatleri (0≤T≤29) göz önünde bulundurulmuştur.

### 3. Bulgular

Bu çalışmada, taşkın öteleme modellerinde kullanılan hidrolik ve hidrolojik modellere bir alternatif olarak Genetik programlamanın bir uzantısı olan Genetik İfadeli Programlama metodu kullanılmıştır. Böylece GEP tekniğini kullanarak taşkın öteleme tahmininde yeni bir model geliştirilmiştir. GEP yöntemi birkaç hidrolojik parametreyi kullanmaktadır (giriş debisi, çıkış debisi ve zaman). 0≤T≤10 (Model I-a), 10<T≤29 (Model I-b) zaman aralığı için GEP 1 ve 0≤T≤29 (Model II) zaman aralığı için GEP 2 modelinde tahmini taşkın çıkış debi (Q) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu çıkış debi değerleri gözlenen değerlerle karşılaştırılmış ve taşkın pik değeri GEP I model çözümünde 199,56 m<sup>3</sup>/s, GEP II model çözümünde ise 209,99 m<sup>3</sup>/s bulunmuştur. Böylece GEP modeli ile pratikte karşılaşılan gerçek problemlere uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmada, Sütçüler taşkını ile ilgili taşkın öteleme hesaplamalarında kullanılan sonlu fark şemaları ve Muskingum modeline dayanan çözüm teknikleri gibi GEP modelinin de iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Çeşitli araştırmacılar tarafından incelenen taşkın ötelenmesine ait çıkış hidrografı ile GEP I ve GEP II hidrografları Şekil 3 de verilmiştir. Şekil de GEP 1 modeli taşkın ötelenme hesabında son derece iyi performans sergilediği sonucuna varılmıştır (R<sup>2</sup>=0.98).



Şekil 3. Gözlemlenen ve tahmin edilen çıkış debi değerlerinin karşılaştırılması

Ayrıca bu çalışmada tek ve çok pikli taşkınlarla tahmin edilen modellerin geçerliliğini kontrol etmektir. Tablo 3 de GEP model sonuçlarının diğer çözüm yaklaşımlarıyla istatistiksel karşılaştırması verilmiştir. Tahmin edilen sonuçları değerlendirmek için istatistiksel doğrulama araçları olan  $R^2$  ve RMSE kullanılmıştır. Önerilen GEP 1 ve GEP 2 modelindeki  $R^2$  ve RMSE değerleri (GEP 1 için  $R^2=0.979$ , RMSE=42.74 ve GEP 2 için

$R^2=0.941$ , RMSE=123.55) diğer çalışmaların değerleriyle (Mac-Cormack için  $R^2=0.993$ , RMSE=20.81; Crank-Nicolson için  $R^2=0.994$ , RMSE=18.38; Lax-Wendroff için  $R^2=0.991$ , RMSE=26.50; Sauljev için  $R^2=0.993$ , RMSE=21.43; Ülke (2003) için  $R^2=0.994$ , RMSE=18.33) kıyaslandığı zaman, bu değerler tahmin edici sonuçlar vermektedir. Burada, RMSE değeri ne kadar düşükse ilgili yöntemin de iyi bir sonuç verdiği anlamına gelmektedir

Tablo 3. GEP Model sonuçlarıyla diğer çözümlerin istatistiksel performansı

Hesaplanan Q (m <sup>3</sup> /s)													
Mac-Cormack		Kinematik Dalga Yaklaşımı						Muskingum Metodu		Bu Çalışma			
[Karahan ve Güraslan,(2013)]		Crank-Nicolson		Lax-Wendroff		Sauljev		Ülke (2003)		GEP 1		GEP 2	
R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE
0.993	20.81	0.994	18.38	0.991	26.5	0.993	21.43	0.994	18.33	0.979	42.74	0.941	123.55

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Sütçüler havzasında, 4 Kasım 1995 tarihinde meydana gelen taşkına ait piklerin matematiksel olarak modellenmesinde yapay zekâ modellerden biri olan GEP Modeli kullanılmıştır. Bu çalışma ile doğal kanallarda taşkın ötelemesi için GEP modelinin kullanılabilirliği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Dolayısıyla, bir nehir veya derenin taşkın zamanını ve meydana gelecek debi miktarını tahmin etmek için GEP yaklaşımı kullanılabilir. GEP yönteminde giriş debisi (I), zaman (T) ve çıkış debisi (Q) parametreleri kullanılmıştır. Bu modellemede  $0 \leq T \leq 10$  (Model I-a),  $10 < T \leq 29$  (Model I-b) için ve  $0 \leq T \leq 29$  (Model II) aralığı için iki model geliştirilmiştir.

Sütçüler taşkını için yapılan hidrolik ve hidrolojik model çalışmalarından elde edilen tahmini sonuçlar ölçülen değerlerle oldukça benzerlik göstermektedir. Bu çalışmalarda oldukça yüksek determinasyon katsayıları ( $R^2=0.991-0.994$ ) ve küçük Ortalama Karesel Hatanın Karekökü değerleri (RMSE=18.33-26.5) elde edilmiştir. GEP I modelinde de yüksek  $R^2=0.980$  ve küçük RMSE=42.74 değerleri elde edilmiştir. Model sonuçları, gözlem değerleri ile kıyaslandığı zaman uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.

Gelecekteki araştırma çabalarının, su kaynakları sistemlerinin daha iyi planlanması, tasarımı, işletilmesi ve yönetimi için GEP tahmini modellerinin doğruluğunu iyileştirmek için bu yönde çalışmalara yönlendirilmesi umulmaktadır. Burada sunulan çalışmanın bulguları, Sütçüler taşkın çalışmasına dayanmaktadır. Böylece, bu çalışmada elde edilen bulgular, farklı özelliklere (boyut, şekil, depolama, arazi kullanımı, vb.), hidrolojik ve iklim koşullarına sahip diğer havzalarda daha kapsamlı bir araştırma ile daha ayrıntılı bir şekilde araştırılarak güçlendirilebilir.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (DÜBAP) Mühendislik 16.004 nolu proje tarafından desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

- Ağralıoğlu, N., (1981), Akarsu Havzaları İçin Birleşik Bir Akış Modeli. Doçentlik Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 125s, İstanbul,
- Atalay, O., (2008), Taşkın Hidrografının Elde Edilmesiyle İlgili Yöntemlerin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 90s, Kocaeli,
- Bagatur, T., Onen, F., (2018), Development of predictive model for flood routing using Genetic expression programming, *Journal of Flood Risk Management*, 11, 444-454
- Bagatur, T., Hamidi, N., (2014), Evaluation with stream characteristics of downstream flood problems after dam construction, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 22(2), 96-104.
- Denrou, B.A., Houstis, E.N., Papatheodorou, T.S., Dendrou, S.A., (1978), Numerical methods for flood-routing problems, 37 p.
- Erkek, C., Ağralıoğlu, N., (2010), *Su Kaynakları Mühendisliği*, İstanbul,
- Ferreira, C., (2001), *Gene expression programming: A new adaptive algorithm for solving problems*. *Complex Systems*, 13(2), 87-129.
- Ferreira C., (2004), *Gene expression programming and the evolution of computer programs*. In: L.N. de Castro & F.J. Zuben, eds. *Recent developments in biologically inspired computing*, New York: Idea Group Publishing, 82-103.
- Ferreira, C., (2006), *Gene Expression Programming: Mathematical Modeling by an Artificial Intelligence*, 2nd Ed., Springer-Verlag, Germany,
- Fread, D.L., Lewis, J.M., (1991), Parameter optimization of dynamic routing models. *Water Forum '86, World Water Issues in Evolution 1986*, ASCE, , Long Beach, CA, USA, 443- 450
- Guven, A., Gunal, M., (2008), Genetic programming approach for prediction of local scour downstream hydraulic structures, *J. Irrig Drain Eng*, 134(2), 241-249.
- Hatunoğlu, B., (2010), Genetik Programlama, ODTÜ Bilgisayar Topuluğu Elektronik Dergisi,



- Oral, O.Ş., (2017), Genetik İfadeli Programlama ile Taşkın Öteleme Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır,
- Karahan, H., Gurarlan, G., (2014), Discussion of "Differential Quadrature Method in Open Channel Flows: Aksu River, *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(9): 07014003.
- Koza, J. R., (1992), *Genetic Programming: on the Programming of Computers by Means of Natural Selection MIT*, Cambridge, UK,
- Onen F., Oral O.S., 2017, Flood Routing Model Using Genetic Expression Programming, 7th International Scientific Forum, ISF, Oxford, UK,481-490
- Onen F, Bagatur T, 2017, Prediction of flood frequency factor for Gumbel Distribution using regression and GEP model, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(9) 3895-3906
- Özdoğan, İ., (2010), Akarsularda Taşkın Ötelenme Modelleri: Alara Çayı Uygulaması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 126s, Isparta,
- Tingsanchali, T., Manandhar, S.K., (1985), Analytical diffusion model for flood routing, *Journal of Hydraulic Engineering*, 111(3) 435-454.
- Ülke, A., (2003), Muskingum Metodu Kullanılarak Taşkın Ötelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 93s, Isparta,

## Modeling Flood Routing with Genetic Expression Programming

### Extended abstract

Floods are natural disasters that cause huge losses and economic damages in many parts of the world. Flooding peak values are required in the design of bridges, canals, spillways for dams. The flood wave entering a particular section of the river or the reservoir causes the water level to rise and this change is investigated by flood routing method. Flood routing is a method used to determine flood replacement by using flood data in a river section.

Flood routing procedures may be classified as either hydrological or hydraulic. Hydrological methods use the principle of continuity and a relationship between discharge and the temporary storage of excess volumes of water during the flood period. Hydraulic methods of routing involve the numerical solutions of either the convective-diffusion equations or the one dimensional Saint-Venant equations of gradually varied unsteady flow in open channels. The hydraulic methods generally describe the flood wave profile more adequately when compared to hydrological methods, but practical application of hydraulic methods are restricted because of their high demand on computing technology, as well as on quantity and quality of input data. In practical applications, the hydrological routing methods are relatively simple to implement and reasonably accurate. An example of a simple hydrological flood routing technique used in natural channels is the Muskingum flood routing method

In this study, the Sütçüler flood, which caused the loss of life and property, which took place in Sütçüler Değirmendere, a line of the Aksu river on November 4, 1995, was modeled using flood routing method. Progression in Artificial Intelligence (AI) offers opportunities in engineering studies (water resources, hydraulics and hydrological events) using new

algorithms and models. This work presents the Genetic Expression Programming (GEP) method, an extension of genetic programming as an alternative to modeling flood routing. Thus, new models have been developed using the GEP method in flood routing prediction. In the GEP method, the inflow ( $I$ ), outflow ( $Q$ ) and time ( $T$ ) parameters are used. The performance of the model was evaluated with two fitness measures, detection coefficient ( $R^2$ ) and root-mean-squared error (RMSE). It is included that the model based GEP has more performance in flood routing prediction than the other solution techniques based on the Muskingum model and finite difference method.

**Keywords:** Flood routing, Natural river, GEP, Modeling



## Dıştan yalıtım uygulamalarında farklı duvar modelleri için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi ve ekonomik analizleri

**Süheyla Yerel KANDEMİR\***

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik  
[syerel@gmail.com](mailto:syerel@gmail.com), ORCID: 0000-0003-4056-5383, Tel:0 228 214 1559

**Veli BEKTAŞ**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik  
[veli\\_bektass@hotmail.com](mailto:veli_bektass@hotmail.com), ORCID: 0000-0002-9338-5012, Tel:0 545 557 2056

**Emin AÇIKKALP**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik  
[emin\\_acikkalp@bilecik.edu.tr](mailto:emin_acikkalp@bilecik.edu.tr), ORCID:0000-0001-5336-1467, Tel:0 228 214 1693

Geliş: 05.03.2018, Kabul Tarihi: 06.04.2018

### Öz

Dünya üzerinde enerji kaynaklarının tüketimi her geçen gün hızla artmaktadır. Günümüzde ısı yalıtımı uygulamaları ile yakıt tüketiminin azalması ve büyük oranda enerji tasarrufu hedeflenmektedir. Bu çalışmada konutlar için en uygun yalıtım sistemi olarak kabul edilen dıştan yalıtım uygulaması tercih edilmiştir. Ankara ili için yapılan çalışmada iki farklı yalıtım malzemesi (taşyünü ve camyünü) iki farklı duvar modeline (tuğla duvar ve gazbeton duvar) uygulanmıştır. Yakıt olarak ise doğalgaz tercih edilmiştir. Çalışmanın ekonomik analizleri ömür maliyet analizine dayanan  $P_1$ - $P_2$  yöntemi ile gerçekleştirilmiş olup neticede dış duvarların optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri tespit edilmiştir. Taşyününün tuğla duvar ve gazbeton duvar sistemine uygulanması halinde optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 0.051 m ve 0.045 m olarak hesaplanmış camyünü için ise bu değerler sırasıyla 0.064 m ve 0.057 m olarak belirlenmiştir. Enerji tasarrufu değerlerinin 27.75 TL/m<sup>2</sup> ile 46.10 TL/m<sup>2</sup> arasında, geri ödeme sürelerinin ise 3.77 yıl ile 4.90 yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak her iki yalıtım malzemesi için de tuğlaya göre daha küçük ısı iletkenlik değerine sahip olan gazbetonun kullanılması halinde daha düşük yalıtım kalınlığı elde edilmiştir. En düşük yalıtım kalınlığı taşyünü ile gazbeton duvar modelinin oluşturduğu yalıtım sisteminde tespit edilmiştir. En yüksek enerji tasarrufu değeri ise camyünü ile tuğla duvar modelinin oluşturduğu yalıtım sisteminde hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar tablo ve grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dıştan ısı yalıtımı; Optimum yalıtım kalınlığı; Ömür maliyet analizi;  $P_1$ - $P_2$  metodu

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.401958

## Giriş

Dünyada sanayileşmenin, kentleşmenin ve teknolojinin her geçen gün gelişmesi ile kaynağı çoğunlukla fosil yakıtlar olan enerji tüketimi sürekli artmaktadır. Ancak fosil yakıtların sınırlı olması ve tüketimin sürekli artması ülkeleri önlem almaya itmiştir. Çünkü enerji tüketimine bağlı olarak ülkelere tehdit oluşturacak iki temel sorun vardır. Bunlardan ilki doğal enerji kaynaklarının gittikçe azalması ve diğeri ise insan ve çevre sağlığı üzerinde çok ciddi sorunlar oluşturabilecek olan hava kirliliğinin artmasıdır. Ülkelerin öncelikli amacı fosil yakıt tüketimini azaltmak ve daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek olmalıdır.

Ülkemizde enerji tüketiminin büyük bir kısmı konutlarda ısıtma ve soğutma amaçlı gerçekleşmektedir. Enerjide dışa bağımlı olan ülkemiz için enerji tüketiminin azaltılması çok önemli olduğundan bu konu ile ilgili çalışmalar yapılmış ve yalıtım konusu gündeme gelmiştir. Binalarda enerjinin etkin kullanılması için başvurulması gereken yollardan birisi ısı yalıtım uygulamasıdır. Bina dış duvarlarına uygulanan ısı yalıtımı; enerjinin korunumu açısından önemli olduğu gibi, çevre kirliliğinin azalması, ısı konforu, binanın korunması ve yakıt tüketimine bağlı olarak işletme giderlerinin azalması açısından da çok önemlidir (Öztuna ve Dereli, 2009).

Enerji maliyetlerindeki artış binalarda özellikle ısı yalıtımını ekonomik bir çözüm olarak ortaya çıkarmaktadır. Günümüzün artan teknolojik gelişmeleri ve bilinç seviyesine bağlı olarak yapı kullanıcıları tüketilen fazla yakıtın ekonomik zararlarının yanında çevresel zararlarını da göz önüne almaktadır. Bu durumda ısı yalıtım malzemeleri de teknolojik gelişmelere paralel olarak değişim göstermiştir. Saman, kil, toprak gibi organik malzemelerin yerini polistren, poliüretan gibi polimerler veya taşyünü, camyünü gibi inorganik bileşenli malzemeler almıştır (Topçuoğlu, 2017).

Binalarda yaşam faaliyetlerinin daha verimli

olması adına ısı konforunun sağlanması çok önemlidir. Çünkü insanlar ancak konforlu ortamlarda üretken olabilirler. İş yerindeki bir kişinin verimi, okuldaki bir öğrencinin başarısı ya da hastane de ki bir kişinin sağlığı üzerinde ısı konforunun önemli derecede etkisi vardır. Bu yüzden bir yapıyı tasarlarırken konfor şartları mutlaka dikkate alınmalıdır. Isı kayıplarının minimum olduğu, daha az yakıtın tüketildiği, insan ve çevre sağlığını daha az tehdit eden ve daha konforlu yapılar tasarlamak biz mühendislerin en önemli görevleri arasında olmalıdır.

Yapıda konforlu bir yaşam ortamının oluşmasında duvarların önemli bir görevi vardır. Çünkü duvarlar iç ve dış ortamı birbirinden ayırarak ısı, ses ve su geçişini önlemektedirler. Ayrıca yangın gibi olumsuz durumlara da direnç gösterirler. Bu yüzden bir duvarın mukavemetinin yanında, yalıtım özelliklerinin ve yangın direncinin de önemi büyüktür. Isı kayıpları genelde duvar, çatı, döşeme, kapı ve pencere gibi yapı elemanlarında oluşur. Ancak ısı kaybının en fazla duvarlarda gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Özellikle binayı çevreleyen duvarlar doğrudan dış ortamla temas halindedir. İç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farklılıklarından dolayı dış duvarlarda çok hızlı bir şekilde ısı geçişi yani ısı kaybı olacaktır. Bundan dolayı enerjinin verimli kullanılmasında ve enerji tasarrufunda dış duvarların ısı performansını belirleyici özelliğe sahiptir.

Binalarda ısı yalıtım uygulamaları ile kış aylarında ısı kayıplarının yaz aylarında ise ısı kazançların azalmasına karşın, kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığına bağlı olarak binanın ilk yatırım maliyeti artmaktadır. Ancak elde edilen enerji tasarrufları göz önüne alındığında hesaplanan geri dönüşüm süresine bağlı olarak sonraki yıllarda enerji tüketiminde azalma görülmektedir. Bu durumda enerji tasarrufu açısından yalıtımın optimum kalınlığının bilinmesi gerekmektedir. Yalıtımın optimum kalınlığı, yalıtım maliyeti ve binanın ömrü üzerinden enerji tüketim maliyetini içine alan minimum toplam maliyeti sağlayan değerdir. Bu yüzden maliyet analizi yapılarak

optimum yalıtım kalınlığı tespit edilmelidir (Özel ve Şengür, 2012).

Çalışmada optimum yalıtım kalınlıkları ömür maliyet analizine göre tespit edilmiştir. Literatürde ömür maliyet analizinin kullanılarak en uygun yalıtım kalınlığının hesaplandığı çalışmalar mevcuttur. Ertürk çalışmasında yalıtım malzemesiyle birlikte hava boşluğunu kullanarak ısı yalıtımının ekonomik ve çevresel boyutunu incelemiştir. Yakıt olarak doğalgaz ve kömür, duvar tipi olarak sandviç duvar, yalıtım malzemesi olarak da ekspande polistren (EPS), ekstrude polistren köpük (XPS) ve taşıyünü tercih etmiştir. Hesaplamalarda dört farklı kalınlıkta hava boşluğu dikkate alınmıştır. Neticede en az yalıtım kalınlığı XPS kullanıldığında bulunmuştur. Yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında ve XPS'nin tek başına olduğu durumda optimum yalıtım kalınlığı 9.2 cm olarak bulunurken duvar bileşenine hava boşluğu eklendiğinde artan hava boşluğu kalınlığına bağlı olarak optimum yalıtım kalınlığı değeri azalmış ve 4 cm hava boşluğu için optimum yalıtım kalınlığı 3.4 cm olarak belirlenmiştir. Yıllık toplam maliyet m<sup>2</sup> başına 24.48 TL'den 17.57 TL'ye, geri ödeme süresi 1.509 yıldan 1.320 yıla düşmüş, yıllık kazanç ise %96 oranında artmıştır. 2014 yılı nüfus ve meskene ait elektrik abone sayıları esas alınarak yapılan hesaplamalara göre; yalıtımsız binaya kıyasla, 4 cm XPS ve 4 cm hava boşluğu ile oluşturulan duvar bileşeni için CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> salınımının %82 azalacağı hesaplanmıştır (Ertürk, 2016). Uçar ve Balo yaptıkları çalışmada 4 farklı iklim bölgesinden 4 il (Mersin, Elazığ, Şanlıurfa ve Bitlis) seçerek her bir şehir için optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamıştır. Hesaplamalarda 4 farklı yalıtım malzemesi ve 5 farklı enerji kaynağı tercih edilmiştir. 10 yıllık ömür için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve enerji tasarrufu tespit edilmiştir. Çalışma sonunda yalıtım kalınlığı arttıkça yakıt maliyetinin azaldığı anlaşılmıştır. Şehre ve yalıtım malzemesine bağlı olarak enerji tasarruf değerlerinin 4.2 \$ / m<sup>2</sup> ile 9.5 \$ / m<sup>2</sup> arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek optimum yalıtım kalınlığı değerine yakıt olarak LPG kullanıldığında ulaşıırken en

düşük değer ise doğalgaz kullanıldığında bulunmuştur. En yüksek geri ödeme süresi değeri 2.25 yıl ile Mersin için doğalgaz kullanıldığında tespit edilirken, en düşük değer ise Bitlis için LPG kullanıldığında hesaplanmıştır (Uçar ve Balo, 2010). Gürel vd. , Karabük için doğalgaz ve kömür kullanımı durumunda optimum yalıtım kalınlığını belirlemişlerdir. Ayrıca azalan yakıt tüketimine bağlı olarak CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarını hesaplayarak çevresel bir değerlendirme yapmışlardır. Çalışma 10 yıllık ömür için yapılmış ve faiz oranı ile enflasyon oranı sırasıyla %10 ve %9 olarak alınmıştır. EPS için yapılan hesaplamalar neticesinde yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı 0.116 m olarak bulunurken kömür kullanıldığında ise 0.134 m olarak tespit edilmiştir. Enerji tasarrufu ise sırasıyla 88.39 TL/m<sup>2</sup> ve 117.14 TL/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Ayrıca yalıtımsız binada gerçekleşen yakıt tüketimi göz önüne alındığında, hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı değerlerinde CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının kömür kullanımı için %85.4, doğalgaz için ise %83.5 oranında azaldığı görülmüştür (Gürel vd., 2012). Dağdır ve Bolattürk yaptıkları çalışmada birinci iklim bölgesinde bulunan İzmir ili için güneş radyasyonunun etkisini de dikkate alarak ısıtma ve soğutma yüküne göre optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamışlardır. Çalışmada yakıt olarak ısıtma için doğalgaz, soğutma için ise elektrik tercih edilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak sıkıştırılmış polistren (XPS) ve genişletilmiş polistren (EPS) kullanılmıştır. 2 farklı duvar tipi üzerinde yapılan hesaplamalar sonucunda XPS'nin kullanıldığı birinci duvar tipinde radyasyonsuz optimum yalıtım kalınlığı ısıtma için 0.0419 m, soğutma için 0.0143 olarak hesaplanmıştır. Enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri ise sırasıyla 13.93 \$/m<sup>2</sup>-1.63 \$/m<sup>2</sup> ve 3.61-6.21 yıl olarak tespit edilmiştir. Radyasyonlu ( $\alpha_s/h_o=0.052$  m<sup>2</sup>°C/W) durum da ise ısıtma için optimum yalıtım kalınlığı 0.0340 m, soğutma için 0.0955 m olarak bulunmuştur. Enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri sırası ile 9.20 \$/m<sup>2</sup>-72.31 \$/m<sup>2</sup> ve 4.10-1.99 yıl olarak tespit edilmiştir. Diğer duvar tipi için ve EPS yalıtım malzemesi için bulun sonuçlarda tablo

halinde verilmiştir. Neticede optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılırken güneşin radyasyon etkisinin de dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır (Dağdır ve Bolattürk, 2011). Liu vd. , çalışmalarında yıllık enerji tüketimini tahmin etmek için nem transferinin ısı transferine olan etkisini dikkate alan birleştirilmiş ısı ve nem transferi modeli kullanmışlardır. Çin’de bulunan 3 şehir için optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve tasarruf değerlerini hesaplanmıştır. Çalışmada yalıtım malzemesi olarak EPS ve XPS tercih edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda optimum yalıtım kalınlığının XPS için 0.053m ile 0.069m arasında, EPS için ise 0.081m ile 0.105m arasında değiştiği bulunmuştur. Tasarruf miktarları ve geri ödeme süreleri ise sırasıyla EPS için 16.69-28.50 \$ / m<sup>2</sup> ve 1.89-2.52 yıl, XPS için ise 16.60-28.39 \$ / m<sup>2</sup> ve 1.97-2.56 yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda EPS’nin XPS ye göre daha ekonomik olduğu belirtilmiştir (Liu vd., 2015). Şişman tez çalışmasında Türkiye’nin tüm illeri için optimum yalıtım kalınlığını, tasarruf miktarını, yatırım tutarını ve geri ödeme süresini hesaplamıştır. Hesaplar için ekonomik analiz yöntemlerinden biri olan bugünkü değer yöntemini kullanmıştır. 2 farklı duvar tipi ve 3 farklı yalıtım malzemesi (EPS, XPS ve taşyünü) ile yapılan hesaplar neticesinde en yüksek yalıtım kalınlığı yalıtım malzemesi olarak EPS kullanıldığında çıkmış, en düşük yalıtım kalınlığı ise taşyünü kullanıldığında bulunmuştur. Bu durumda yalıtım kalınlığı hesaplarında yalıtım malzemesinin birim fiyatının önemli bir belirleyici faktör olduğu belirtilmiştir. Ayrıca birim fiyatı düşük olan malzeme ile daha fazla yalıtım kalınlığında yalıtım yapmanın yıl içerisinde mali olarak daha fazla kazanç sağlayacağı da vurgulanmıştır (Şişman, 2005). Yalçın, yüksek lisans tez çalışmasında Elazığ ili için dış duvarlarda gerekli optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Çalışmada enerji kaynağı olarak kömür, doğalgaz ve elektrik; yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS ve taşyünü; duvar modeli olarak ise yatay delikli tuğla duvar, sandviç duvar ve gazbeton tercih edilmiştir. Örnek olarak yatay delikli tuğla duvara tüm yalıtım

malzemelerinin uygulanması ve tüm yakıtların kullanılması durumunda optimum yalıtım kalınlıkları 0.0374-0.1141 m arasında, yalıtım maliyeti 16.89-54.46 TL/m<sup>2</sup> arasında, yıllık enerji kazancı 39.09-292.81 TL/m<sup>2</sup> arasında, enerji tasarrufu %41.93-77.75 arasında ve geri ödeme süresi 0.94-2.81 yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir (Yalçın, 2012). Kaya vd. , çalışmalarında Erzincan ilinde örnek olarak seçilen ısı yalıtımlı ve yalıtımsız her bir bina türünden gerçekleşen ısı kayıplarını tespit ederek ekonomik analizler yapmışlardır. Çalışmada XPS yalıtım malzemesi kullanılmış, Erzincan ili için optimum yalıtım kalınlığı 0.0882 m olarak bulunmuştur. Ayrıca çalışmada projelerde genellikle tercih edilen yalıtım kalınlıkları olan 4.5 ve 8 cm için hesaplamalar yapılmıştır. 4.5 ve 8 cm XPS yalıtımı için toplam yıllık ısıtma maliyetindeki tasarrufun sırasıyla %43.80, %41.49 ve %38.81 olarak olduğu hesaplanmıştır. Geri ödeme süreleri ise sırasıyla 1.75 yıl, 1.66 yıl ve 1.57 yıl olarak bulunmuştur (Kaya vd., 2016). Aktemur ve Atikol yaptıkları çalışmada 4 farklı iklim bölgesinden 4 il (Muğla, Kocaeli, Ankara ve Ardahan) seçerek ömür maliyet analizi ile optimum yalıtım kalınlıklarını tespit etmiştir. 6 farklı yalıtım malzemesi ve 6 farklı yakıt türü kullanılmıştır. 15 yıllık ömür için yapılan hesaplamalar neticesinde sandviç duvar modeli için optimum yalıtım kalınlığının 2.8 cm ile 45.1 cm arasında hesaplanmıştır. Enerji tasarruflarının 16.4 TL/m<sup>2</sup> ve 479 TL/m<sup>2</sup> arasında, geri ödeme sürelerinin ise 0.078 yıl ile 0.860 yıl arasında değiştiği belirtilmiştir (Aktemur ve Atikol, 2017).

Bu çalışmada ise Ankara ili için hesaplar yapılmış olup iki farklı duvar modeli (yatay delikli tuğla duvar ve gazbeton duvar) için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi olarak taşyünü ve camyünü, yakıt olarak ise doğalgaz tercih edilmiştir. Çalışmada tuğla duvar modeli ve gazbeton duvar modeli için optimum yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süreleri ve tasarruf değerleri tespit edilmiştir. Yatay delikli tuğlaya göre daha düşük ısı iletkenlik değerine ( $\lambda$ ) sahip olan gazbeton için optimum yalıtım kalınlıklarının

daha düşük olduğu görülmüştür. Bulunan sonuçlar karşılaştırılarak tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

## Materyal ve yöntem

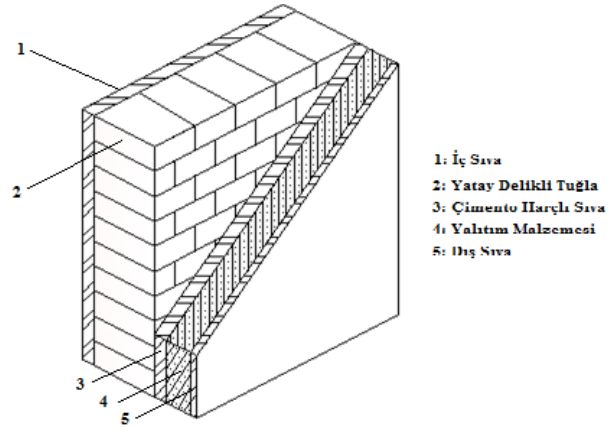
### Duvar modelleri ve bileşenleri

Çalışmada dıştan yalıtım uygulamasına ait duvar modelleri incelenmiştir. Mantolama olarak da bilinen dıştan yalıtım uygulamasında bina dış duvarları dış yüzeyden yalıtım malzemesiyle kaplanır. Bu sistem binayı dışarıdan bir manto gibi sarmakta ve olası ısı köprülerini engellemektedir. Böylelikle sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan gerilme ve çatlaklar önlenmekte, duvarlar rüzgâr, yağmur gibi zor koşullardan korunmaktadır. Özellikle yüksek verim ve ısıl konfor açısından hedeflenen yaşam alanları oluşturur. Bu yüzden dışarıdan yalıtım uygulaması yapı fiziği açısından en uygun sistem olarak tercih edilmektedir. Ayrıca mantolama ile yapının bakım-onarım masrafları azalmakta, yapı ömrü uzamaktadır. Bu uygulama diğer dış duvar yalıtım uygulamalarına kıyasla yüksek maliyetli olmasına karşın, konutlar için en uygun sistem olarak kabul edilmektedir (Sezer, 2005).

Çalışmada yalıtım malzemesi olarak taşyünü ve camyünü tercih edilmiştir. Cam yünü borosilikat camdan yaklaşık 1400°C sıcaklıkta, taş yünü ise ergitilmiş taştan (diyabaz, dolerit) yaklaşık 1500 °C sıcaklıkta üretilir. Isıtılmış kütle gerekli işlemlerden geçirilerek elyaflar oluşturulur. Hem taşyünü hem de camyününün üretimi sırasında lifleri birbirine bağlamak ve ürün özelliklerini iyileştirmek amacıyla fenolik reçine eklenir. Mineral yünlerin ısı iletkenlik hesap değeri 0.030-0.040 W/mK arasındadır. Bu değer, sıcaklık, nem içeriği ve yoğunluk gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir (Jelle, 2011). Camyünü ve taşyünü yalıtım malzemeleri açık gözenekli malzemelerdir. Bu yalıtım malzemeleri genellikle mantolama olarak da adlandırılan duvarların dış yüzeyine yapılan ısı yalıtım uygulamalarında kullanılır. Ayrıca iki duvar elemanı arasında (sandviç duvar), çatı döşemesi üzerinde şilte formunda ısı yalıtım uygulamalarında ve boru formunda

tesisat yalıtımı uygulamalarında da kullanılmaktadır (Bayraktar, 2016). Ayrıca mineral yün grubundaki malzemelerin yapılarında boşluklar ve hava geçiş yolları bulunmaktadır. Açık gözenekli yapıya sahip olan bu malzemeler sese maruz kaldığında ses bu iç boşluklara doğru ilerler. Ses enerjisinin bir kısmı, bu boşluklarda ilerlerken sürtünme ve malzemelerdeki küçük elyafların titreşimi nedeniyle ısı enerjisine dönüşerek kaybolur. Bu yüzden ses yutucu olarak adlandırılan bu malzemeler ses yalıtımı amacıyla da kullanılırlar (Murat, 2016).

Aşağıda iki farklı duvar tipine ait duvar modeli şekil 1 de verilmiştir. Duvar bileşenleri ve duvarların ısı iletkenlik direnci  $R_{wt}$  ( $m^2K/W$ ) ise tablo 1 de yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan duvar modeli

Duvar 1 için duvar bileşenleri soldan sağa doğru iç sıva, yatay delikli tuğla, çimento harçlı sıva, yalıtım malzemesi (taşyünü-camyünü) ve anorganik esaslı dış sıvadan oluşmaktadır. Duvar 2 için ise duvar bileşenleri; iç sıva, gazbeton, çimento harçlı sıva, yalıtım malzemesi ve anorganik esaslı dış sıvadır. Aşağıdaki tabloda duvar bileşenlerine ait özellikler ve duvarların hesaplar için gerekli olan ısı iletkenlik dirençleri ( $R_{wt}$ ) verilmiştir. “ $R_{wt}$ ” yalıtım malzemesi hariç toplam ısı iletkenlik direncini ifade etmektedir.

Tablo 1. Duvar bileşenlerinin özellikleri (TS 825, 2008).

Duvar bileşenleri	Kalınlık (m)	Isı iletkenlik değeri (W/m K)	R(m <sup>2</sup> K/W)
Kireç harcı-iç sıva	0.02	1	0.020
Yatay delikli tuğla	0.19	0.39	0.487
Gazbeton	0.19	0.29	0.655
Çimento harçlı sıva	0.02	1.6	0.013
Anorganik esash dış sıva	0.006	0.30	0.020
Taşyünü		0.035	
Camyünü		0.040	
R <sub>i</sub> (iç ortam ısı direnci)			0.13
R <sub>e</sub> (dış ortam ısı direnci)			0.04
Duvar 1 (R <sub>w1</sub> )			0.710
Duvar 2 (R <sub>w2</sub> )			0.878

Çalışmada yakıt olarak doğalgaz kullanılmıştır. Hesaplamalar için doğalgaza ait bazı verilerin bilinmesi gerekmektedir. Bunlar yakıtın birim fiyatı, alt ısı değeri ve sistem verimidir. Doğalgaza ait parametreler Tablo 2 de yer almaktadır. Doğalgazın birim fiyatı için Başkent

Doğalgaz Dağıtım A. Ş.'nin 2017 yılında her bir ay için belirlediği değerler dikkate alınmıştır. Bu durumda hesaplarda kullanılacak birim fiyat 0.987 TL/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir (Başkent Doğalgaz, 2018).

Tablo 2. Doğalgaza ait değerler (Başkent Doğalgaz, 2018).

Yakıt	Birim fiyatı (C <sub>f</sub> )	Yakıt alt ısı değeri (H <sub>w</sub> )	Sistem verimi (η <sub>k</sub> )
Doğalgaz	0.987 TL/m <sup>3</sup>	34542x10 <sup>3</sup> j/m <sup>3</sup>	0.92

Hesaplamalarda kullanılan diğer parametreler ise Tablo 3 de verilmiştir. Yalıtım malzemelerinin birim fiyatları için piyasa araştırması yapılarak ortalama bir değer alınmıştır. Faiz ve enflasyon oranlarının yaklaşık değerleri, Türkiye İstatistik

Kurumu'nun 2017 yılı Üfe ve Tüfe oranları dikkate alınarak belirlenmiştir (Tüik, 2018). Isıtma derece-gün değeri ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Ankara ili için son 10 yılın verileri dikkate alınarak 2384 olarak belirlenmiştir (Mgm, 2018).



Tablo 3. Çalışmada kullanılan parametreler ve değerleri (TS 825, 2008; Tüik, 2018; Mgm, 2018).

Parametre	Değer
<b>Isıtma derece-gün</b>	
DG	2384
<b>Finansal parametreler</b>	
Enflasyon oranı (g)	11(%)
Faiz oranı (i)	15(%)
Yatırımın ekonomik ömrü (N)	10
P <sub>1</sub>	10.62
P <sub>2</sub>	1
<b>Yalıtım malzemeleri</b>	
<b>Camyünü</b>	
Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	0.040
Birim fiyatı (TL/m <sup>3</sup> )	320
<b>Taşyünü</b>	
Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	0.035
Birim fiyatı (TL/m <sup>3</sup> )	410

Yukarıdaki parametreler dikkate alınarak dış duvarlardan kaynaklanan ısı kayıplarını engellemek için duvarların dış yüzeylerine yapılan ısı yalıtımının optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Her iki duvar modeli için yapılan analizlerde kullanılan hesap metodu ise iki ekonomik göstergeye dayanarak yaşam dönemi maliyetinin hesaplandığı  $P_1$ - $P_2$  metodudur.

### Hesap Yöntemi

Dış duvarın birim alanında oluşan ısı kaybı, aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$q=U.(T_b-T_o) \quad (1)$$

Burada,  $U$  duvarın toplam ısı geçiş katsayısını,  $T_b$  ve  $T_o$  ise sırasıyla denge sıcaklığını ve ortalama günlük sıcaklığı ifade etmektedir. Birim yüzey alanda meydana gelen yıllık ısı kaybı,

$$q=U.86400.DG \quad (2)$$

olarak bulunur.  $DG$  ısıtma derece-gün sayısını ifade etmektedir. Yalıtımlı veya yalıtımsız bir duvarda ısıtma amaçlı gerekli olan yıllık enerji

ihtiyacı ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır (Uçar ve Balo, 2010).

$$E_A = \frac{U.86400.DG}{\eta} \quad (3)$$

Burada “ $\eta$ ” ısıtma sisteminin verimini ifade etmektedir. Yalıtımsız duvarın toplam ısı geçiş katsayısı ( $U_{un}$ ) denklem 4 e göre, yalıtımlı duvarın toplam ısı geçiş katsayısı ( $U_{in}$ ) ise, denklem 5 e göre hesaplanmaktadır.

$$U_{un} = \frac{1}{R_i+R_w+R_e} \quad (4)$$

$$U_{in} = \frac{1}{R_i+R_w+R_{in}+R_e} = \frac{1}{R_{wt}+x/\lambda} \quad (5)$$

Denklem 4 ile verilen eşitlikte “ $R_i+R_w+R_e$ ” yalıtım tabakasının ısı direnci hariç diğer ısı iletim dirençlerinin toplamını ifade eder ve  $R_{wt}$  ile gösterilir.  $R_{in}$  ise yalıtım malzemesinin ısı direnci olup  $x/\lambda$  olarak yazılabilir.  $\lambda$  (W/mK) yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik hesap değeri,  $x$  (m) yalıtım kalınlığıdır.  $\Delta U=U_{un}-U_{in}$  olduğundan, yalıtımsız ve yalıtımlı duvarların ısı geçiş katsayıları farkı aşağıdaki eşitlik ile bulunur (Gürel vd., 2012).

$$\Delta U = \frac{1}{R_{wt}} - \frac{1}{R_{wt}+\frac{x}{\lambda}} \quad (6)$$

Binanın dış duvarlarında her bir birim yüzey için harcanan yıllık enerji miktarı ise denklem 7 ye göre hesaplanır (Dağıdır ve Bolattürk, 2011).

$$C_{Ain} = \frac{86400. DG. U. C_f}{H_u.\eta} \quad (7)$$

Çalışmada yakıt olarak doğalgaz kullanıldığından, bu eşitlikte “ $H_u$ ” doğalgazın alt ısı değeridir. “ $C_f$ ” ise yakıtın birim fiyatını göstermektedir. Yalıtımın maliyeti aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

$$C_{in}=C_i. x \quad (8)$$

$C_{in}$  TL/m<sup>2</sup> cinsinden, yalıtımın toplam maliyeti olup formüldeki  $x$  yalıtım malzemesinin kalınlığını (m) ve  $C_i$  ise TL/m<sup>3</sup> cinsinden yalıtım malzemesinin birim fiyatını gösterir.

### Optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ve ekonomik analizler

Bir yatırımın ekonomik olup olmadığının değerlendirilmesi aşamasında kullanılacak birçok ekonomik analiz yöntemi mevcuttur. Bu çalışmada optimum yalıtım kalınlığının hesaplanması için, ekonomik analiz yöntemlerinden biri olan  $P_1$ - $P_2$  metodu tercih edilmiştir.  $P_1$ - $P_2$  metodunda, bazı ekonomik parametreler (faiz ve enflasyon oranları, yakıt ve yalıtım malzemesi fiyatları...) hesaba katılarak analizler gerçekleştirilir. Günümüzde çeşitli mühendislik çalışmalarında ekonomik analiz yöntemi olarak  $P_1$ - $P_2$  metodu kullanılmaktadır. Yatırım ömrü boyunca faiz ( $i$ ) ve enflasyon ( $g$ ) oranlarına bağlı olarak  $P_1$  denklem 9'daki gibi hesaplanır. Hesaplarda bakım ve sürekli maliyetler (işletme maliyeti vb.) olmadığı kabul edildiğinden  $P_2$  değeri 1 alınmıştır (Baykal, 2014).

$i \neq g$  ise;

$$P_1 = \frac{1}{g-i} \left[ 1 - \left( \frac{1+i}{1+g} \right)^N \right] \quad (9)$$

$$P_2 = 1 + P_1 M_s - \frac{R_v}{(1+g)^N} \quad (10)$$

Burada  $M_s$  yıllık bakım ve işletme maliyetini,  $R_v$  ise ilk yatırım maliyetini ifade etmektedir. Bu çalışmada  $M_s$  ve  $R_v$  değeri sıfır kabul edildiğinden  $P_2 = 1$  olarak alınır. Dış duvar birim alanından ısıtma için elde edilecek enerji tasarrufu ( $S$ ), aşağıdaki eşitlik ile verilmiştir.

$$S = \frac{P_1 \cdot 86400 \cdot DG \cdot \Delta U \cdot C_f}{H_u \cdot \eta} - P_2 \cdot C_i \cdot X \quad (11)$$

Yalıtımlı bir binanın toplam ısıtma maliyeti ( $C_{Tin}$ ); tüm harcamaların toplamını ifade eder ve denklem 12 ye göre hesaplanır.

$$C_{Tin} = P_1 C_{Ain} + P_2 C_{in} \quad (12)$$

$$C_{Tin} = \frac{P_1 \cdot 86400 \cdot DG \cdot C_f}{\left( R_{wt} + \frac{x}{\lambda} \right) \cdot H_u \cdot \eta} + P_2 \cdot C_i \cdot X \quad (13)$$

Optimum yalıtım kalınlığı ( $x_{opt}$ ), yıllık maliyetin en düşük olduğu nokta olarak tanımlanabilir. Bu noktada gerçekleşecek bir yalıtım ile maliyet minimum olurken tasarruf ise maksimum düzeyde olacaktır. Toplam ısıtma maliyetinin yalıtım kalınlığına ( $x$ ) göre türevi alındığında optimum yalıtım kalınlığı elde edilir ve aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır.

$$x_{opt} = \sqrt{\frac{86400 \cdot P_1 \cdot \lambda \cdot DG \cdot C_f}{P_2 \cdot C_i \cdot H_u \cdot \eta}} - \lambda \cdot R_{wt} \quad (14)$$

Yatırım maliyetine karşılık gelen geri ödeme süresinin belirlenmesi de çok önemlidir. Geri ödeme süresi aşağıdaki denklem yardımıyla bulunur (Ertürk, 2016).

$$PP = \frac{P_2 \cdot C_i \cdot H_u \cdot \eta (R_{wt} \cdot x + R_{wt}^2 \cdot \lambda) \cdot (1+i)}{C_f \cdot 86400 \cdot DG} \quad (15)$$

### Bulgular ve Değerlendirme

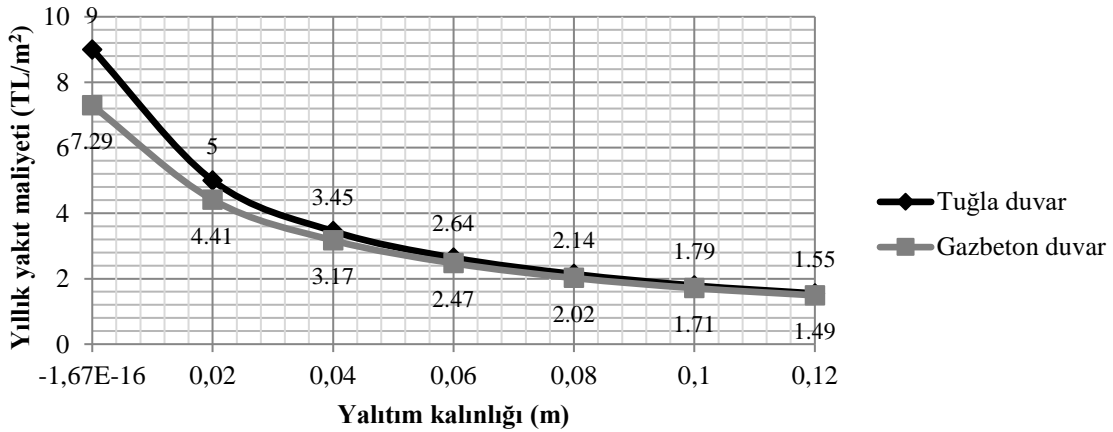
Bu çalışmada 3. derece gün bölgesinde bulunan Ankara için iki farklı yalıtım malzemesi ve iki farklı duvar modeli esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Her bir yalıtım sistemi için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanarak sonuçlar Tablo 4 de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en düşük yalıtım kalınlığı değeri taşıyünü+gazbeton duvar yalıtım sisteminde elde edilirken en yüksek yalıtım kalınlığı değeri ise camyünü+tuğla duvar yalıtım sisteminde bulunmuştur. Enerji tasarrufunun yüksek olduğu yerde geri ödeme süresi daha düşüktür. Kazanç yüksekse sistemin kendini karşılayabilmesi için geçen süre daha az olmaktadır. Sonuçlara göre enerji tasarrufunun en yüksek olduğu değer 46.10 TL/m<sup>2</sup> ile camyününe (tuğla duvar) ait olduğu görülürken tasarrufa karşılık gelen geri ödeme süresi ise 3.77 yıldır.

Tablo 4. Farklı yalıtım malzemeleri ve duvar tipleri için hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri

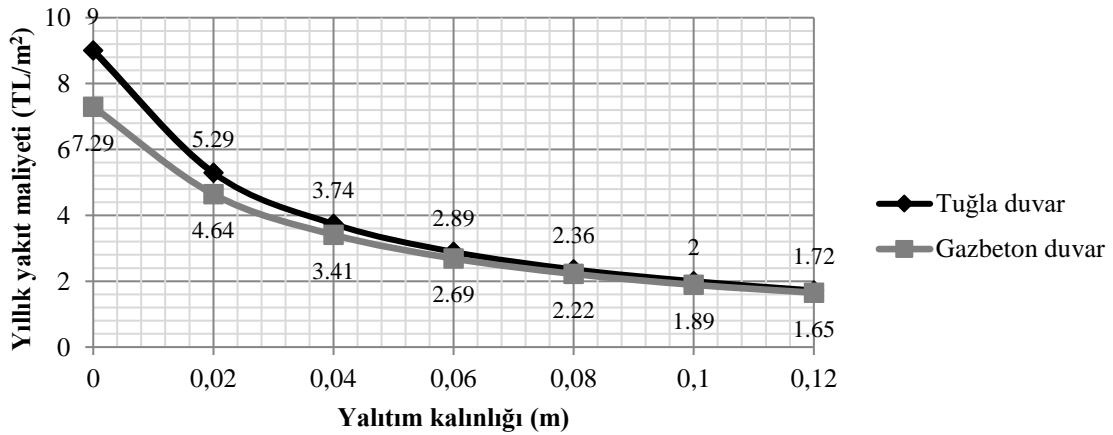
	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Geri ödeme süresi (yıl)
Taşyünü (tuğla duvar)	0.051	43.63	3.97
Taşyünü (gazbeton duvar)	0.045	27.75	4.90
Camyünü (tuğla duvar)	0.064	46.10	3.77
Camyünü (gazbeton duvar)	0.057	29.32	4.65

Yalıtım kalınlığı arttıkça yıllık yakıt maliyeti azalacaktır. Şekil 2 ve Şekil 3'te taşyünü ve camyünü malzemeleri için yalıtım kalınlığının yıllık yakıt maliyetine etkisi görülmektedir. Yalıtım olmadığında yani yalıtım kalınlığı sıfır iken tuğla duvar için yıllık yakıt maliyeti 9 TL/m<sup>2</sup>, gazbeton duvar için ise 7.29 TL/m<sup>2</sup>'dir. Artan kalınlıklarda taşyünü yalıtım malzemesi logaritmik olarak azalmaktadır. 0.06 m kalınlığa

kadar azalma hızlıdır, bu değerden sonra azalma hızı düşmektedir ve yıllık yakıt maliyeti azalarak 0.12 m kalınlık için bu değerler camyünü ve taşyünü için sırasıyla 1.55 TL/m<sup>2</sup> ve 1.49 TL/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Camyünü yalıtım malzemesi uygulandığında ise 0.12 m kalınlık için belirlenen yıllık yakıt maliyetleri tuğla ve gazbeton duvar modelleri için sırasıyla 1.72 TL/m<sup>2</sup> ve 1.65 TL/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.



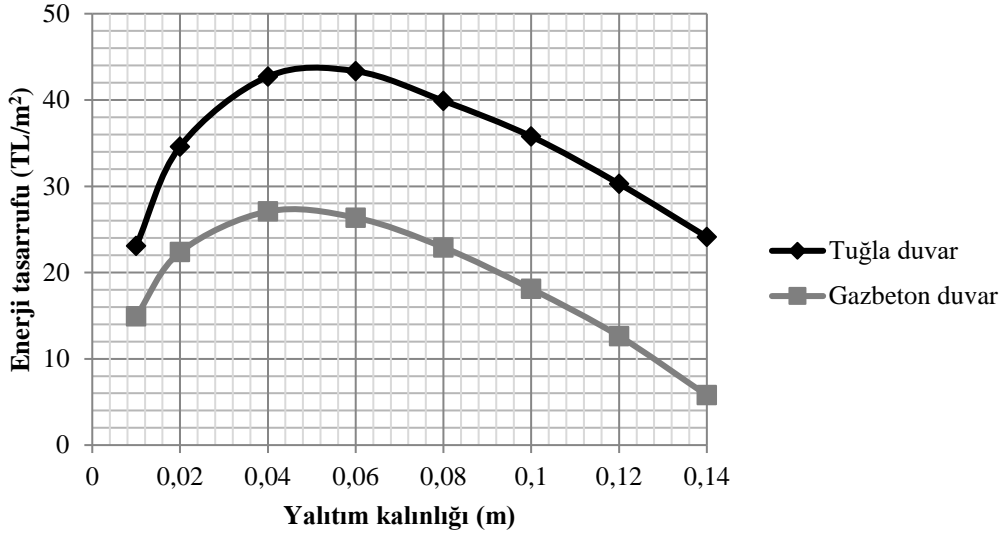
Şekil 2. Taşyünü için değişen yalıtım kalınlıklarına göre yıllık yakıt maliyeti grafiği



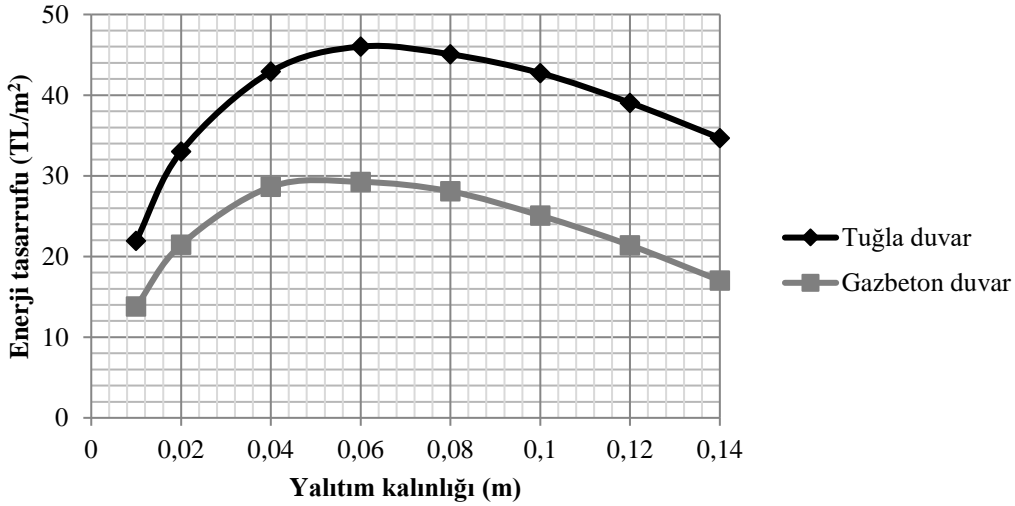
Şekil 3. Camyünü için değişen yalıtım kalınlıklarına göre yıllık yakıt maliyeti grafiği

Şekil 4 ve şekil 5 incelendiğinde belirli bir değerde tepe noktasına sahip bir grafik görülmektedir. Bu değer optimum yalıtım kalınlığı olarak adlandırılır. Optimum yalıtım kalınlığına karşılık gelen enerji tasarrufu değeri o sistemden elde edilecek maksimum tasarruf

miktarını diğer bir deyişle maksimum kazancı ifade etmektedir. Şekiller incelendiğinde optimum yalıtım kalınlığına kadar değerlerin arttığı, bu değerden itibaren ise değerlerin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4. Taşyünü için değişen yalıtım kalınlıklarına göre enerji tasarrufu grafiği

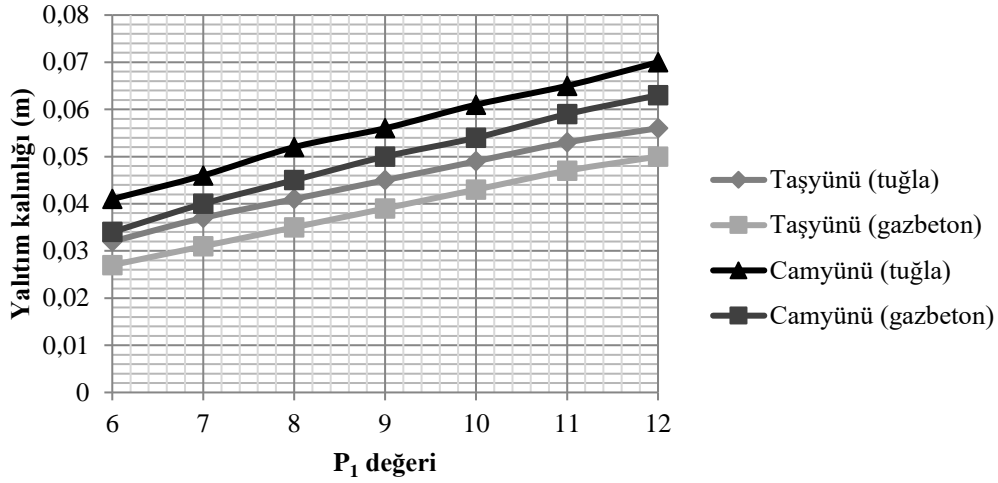


Şekil 5. Camyünü için değişen yalıtım kalınlıklarına göre enerji tasarrufu grafiği

Optimum yalıtım kalınlığının hesaplanması için gerekli olan parametrelerden birisi de  $P_1$  değeridir.  $P_1$  değeri faiz ve enflasyon oranlarına göre belirlenen bir değer olup sürekli değişiklik gösteren bir özelliğe sahiptir. Farklı yalıtım

sistemleri için  $P_1$  değerinin yalıtım kalınlığına etkisi şekil 6 da görülmektedir. Grafik incelendiğinde  $P_1$  değeri arttıkça yalıtım kalınlığının arttığı azaldıkça yalıtım kalınlığının azaldığı görülmektedir. 6 ile 12 arasında değişen

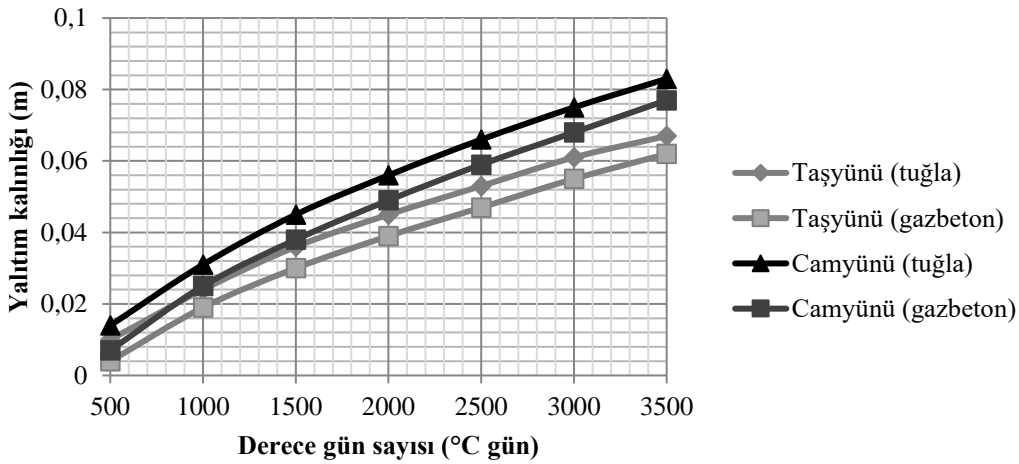
$P_1$  değerleri için yapılan hesaplar sonucunda arasında değiştiği tespit edilmiştir. yalıtım kalınlıklarının 0.027 m ile 0.07 m



Şekil 6. Farklı yalıtım malzemeleri ve duvar tipleri için  $P_1$  değerinin yalıtım kalınlığına etkisi

Optimum yalıtım kalınlığını etkileyen önemli parametrelerden bir diğeri ısıtma derece gün sayısıdır. Sıcak bir iklim bölgesinden soğuk bir iklim bölgesine gidildikçe ısıtma derece gün sayısı artmaktadır. Isıtma derece gün sayısının yüksek olduğu bir yerde daha fazla ısı kaybının olduğu, daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulduğu ve daha yüksek yalıtım kalınlığı değerlerinin gerektiği yorumları yapılabilir. Şekil 7'de ısıtma

derece gün sayısının yalıtım kalınlığına etkisini gösteren grafik verilmiştir. 500-3500 °C gün arasında değişen değerler için hesaplanan yalıtım kalınlıkları görülmektedir. Grafikten  $DG$  değerinin arttıkça yalıtım kalınlığının arttığı anlaşılmaktadır. Neticede yalıtım kalınlıklarının 0.007 m ile 0.083 m arasında değiştiği yapılan hesaplar sonucunda tespit edilmiştir.



Şekil 7. Farklı yalıtım malzemeleri ve duvar tipleri için  $DG$  değerinin yalıtım kalınlığına etkisi

## Sonuçlar

Dünyada enerjiye olan talep hızla artmaktadır. Enerji kaynaklarının kısıtlı olduğu ülkemizde ise enerji ithal edilmektedir. Bu yüzden enerjide dışa bağımlılığı azaltmak adına önlemler

alınmaya başlanmıştır. Yakıt tüketimini azaltmak ve istenilen tasarruf seviyelerine ulaşmak için atılması gereken adımların başında ise ısı yalıtım uygulamaları gelmektedir. Bu çalışmada 3. İklim bölgesinde bulunan Ankara için optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiş ve

diğer ekonomik analizler yapılmıştır. Hesaplamalar için ömür maliyet analizine dayanan  $P_1$ - $P_2$  hesap metodu kullanılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak taşıyünü ve camyünü, yakıt olarak ise doğalgaz tercih edilmiştir. Dıştan yalıtımın iki farklı duvar modeli için uygulanması durumunda optimum yalıtım kalınlıkları 0.045 m ile 0.064 m arasında değişmiştir. En düşük yalıtım kalınlığı taşıyünü (gazbeton) kullanıldığında, en yüksek yalıtım kalınlığı ise camyünü (tuğla) kullanıldığında elde edilmiştir. Enerji tasarrufu değerlerinin 27.75 TL/m<sup>2</sup> ile 46.10 TL/m<sup>2</sup> arasında, geri ödeme sürelerinin ise 3.77 yıl ile 4.90 yıl arasında değiştiği hesaplanmıştır. Gazbetonun ısı iletkenlik değeri ( $\lambda$ ) yatay delikli tuğlaya göre daha düşüktür. Düşük ısı iletkenlik yüksek ısı yalıtım özelliği anlamına gelmektedir. Sonuç olarak hem taşıyünü hem de camyünü yalıtım malzemesi için gazbeton kullanılması halinde daha düşük yalıtım kalınlığı tespit edilmiştir. En düşük yalıtım kalınlığının ise taşıyünü yalıtım malzemesi ile gazbeton duvar modelinin oluşturduğu yalıtım sisteminde elde edildiği görülmüştür.

$U$ : Duvarın toplam ısı geçiş katsayısı (W/mK)  
 $U_{in}$ : Yalıtımlı duvarın toplam ısı geçiş katsayısı (W/m<sup>2</sup>K)  
 $U_{un}$ : Yalıtımsız duvarın toplam ısı geçiş katsayısı (W/m<sup>2</sup>K)  
 $q$ : Dış duvarın birim alanında oluşan ısı kaybı (MJ/m<sup>2</sup>yıl)  
 $\Delta U$ : Yalıtımsız ve yalıtımlı duvarların ısı geçiş katsayıları farkı (W/m<sup>2</sup>K)  
 $\lambda$ : ısı iletkenlik değeri (W/mK)

## Semboller

$C_{Ain}$ : Her bir birim yüzey için harcanan yıllık enerji miktarı (J/m<sup>2</sup>yıl)  
 $C_f$ : Doğalgaz birim fiyatı (TL/m<sup>3</sup>)  
 $C_{in}$ : Yalıtımın toplam maliyeti (TL/m<sup>2</sup>)  
 $C_i$ : Yalıtım malzemesinin birim fiyatı (TL/m<sup>3</sup>)  
 $C_{Tin}$ : Yalıtımlı bir binanın toplam ısıtma maliyeti (TL/m<sup>2</sup>yıl)  
 $DG$ : Isıtma derece gün sayısı (°C gün)  
 $E_A$ : Yıllık enerji ihtiyacı (J/m<sup>2</sup>-yıl)  
 $H_u$ : Doğalgazın alt ısı değeri (j/m<sup>3</sup>)  
 $g$ : Enflasyon oranı  
 $i$ : Faiz oranı  
 $N$ : Yatırımın ekonomik ömrü (yıl)  
 $\eta_k$ : Sistem verimi  
 $PP$ : Geri ödeme süresi (yıl)  
 $R$ : Isıl iletkenlik direnci (m<sup>2</sup>K/W)  
 $R_{in}$ : Yalıtım malzemesinin ısı direnci (m<sup>2</sup>K/W)  
 $R_i$ : İç ortamın ısı direnci (m<sup>2</sup>K/W)  
 $R_e$ : Dış ortamın ısı direnci (m<sup>2</sup>K/W)  
 $R_{wt}$ : Yalıtımsız duvar tabakasının toplam ısı direnci (m<sup>2</sup>K/W)  
 $S$ : Enerji tasarrufu (TL/m<sup>2</sup>)  
 $T_b$ : Denge sıcaklığını (°C)  
 $T_o$ : Ortalama günlük sıcaklığı (°C)

## Kaynaklar

- Aktemur, C. ve Atikol, U., (2017). Optimum Insulation Thickness for the Exterior Walls of Buildings in Turkey Based on Different Materials, Energy Sources and Climate Regions, *International Journal of Engineering Technologies*, **3**, 2, 72-82.
- Baykal, C., (2014). Binalarda yönlere göre yalıtım kalınlığının ekonomikliğinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayraktar, D., Bayraktar, E.A., (2016). Mevcut binalarda ısı yalıtımı uygulamalarının değerlendirilmesi, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **7**, 1, 59-66.
- Dağdır, C. ve Bolattürk, A., (2011). Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Isıtma ve Soğutma Yüküne Göre Tespit Edilen Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Karşılaştırılması, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 64-77.
- Ertürk, M., (2016). Bina dış duvarlarında farklı yalıtım malzemesi ve hava boşluğu kullanımının, birim alandaki enerji tasarrufu ve kişi başı emisyon hesaplamalarında yeni bir yaklaşım, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **31**, 2, 395-406.
- Gürel, A.E., Çay, Y., Daşdemir, A. ve Küçükkülahlı, E., (2012). Karabük için dış duvar optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu ve hava kirliliğine etkileri, *Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, **1**, 4, 402-414.
- Jelle, B.P., (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions–Properties, requirements and possibilities, *Energy and Buildings*, **43**, 10, 2549-2563.
- Kaya, M., Fırat, İ. ve Çomaklı, Ö., (2016). Erzincan ilindeki binalarda ısı yalıtımının enerji tasarrufuna etkisinin ekonomik analizi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, **36**, 1, 47-55.
- Liu, X., Chen, Y., Ge, H., Fazio, P. ve Chen, G., (2015). Determination of optimum insulation thickness of exterior wall with moisture transfer in hot summer and cold winter zone of China, *Procedia Engineering*, 121, 1008-1015.
- Murat, T., (2016). Ses yalıtımının önemi, *İzoderji*, 117.
- Özel, M. ve Şengür, S., (2012). Farklı yakıt türü ve yalıtım malzemelerine göre optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 132, 5-11.
- Öztuna, S. ve Dereli, E., (2009). Edirne ilinde optimum duvar yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi, *Trakya Univ J Sci*, **10**, 2, 139-147.
- Sezer, F.Ş., (2005). Türkiye’de ısı yalıtımının gelişimi ve konutlarda uygulanan dış duvar ısı yalıtım sistemleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **10**, 2, 79-85.
- Şişman, N., (2005). Derece gün bölgeleri için bina dış duvarlarında farklı yalıtım malzemesi ve duvar yapı bileşenleri kullanılması halinde ekonomik analiz yöntemi ile en iyi yalıtım kalınlığının tespiti, *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Topçuoğlu, K., (2017). *Yalıtım Teknolojisi*, 2. basım, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.
- TS 825, (2008). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Uçar, A. ve Balo, F., (2010). Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls, *Renewable Energy*, **35**, 1, 88-94.
- Yalçın, A.H., (2012). Elazığ ilinde kullanılan farklı duvar tipleri için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ve ekonomik analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

---

Başkent Doğalgaz Web Sitesi.

<https://online.baskentdogalgaz.com.tr/MusteriOnline/faces/genel/dogalgazsatisfiyatları.jsf> , (12.02.2018)

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Web Sitesi.

<http://www.mgm.gov.tr/> , (12.02.2018)

Türkiye İstatistik Kurumu Web Sitesi.

<http://www.tuik.gov.tr> , (12.02. 2018)

## Determination of optimum insulation thicknesses and economic analysis for different wall models in external wall insulation applications

### Extended abstract

*The consumption of energy resources all over the world is increasing day by day. Nowadays, thermal insulation applications are aiming to reduce fuel consumption and energy saving substantially.*

*In our country, a large part of the energy is consumed for heating and cooling purposes in the houses. Our country, which is dependent on foreign countries for energy, has been working on this subject and the issue of insulation has come to the agenda. One of the ways in which buildings should be applied for efficient use of energy is thermal insulation application. With thermal insulation applications in buildings, heat losses in winter months and heat gains in summer months are decreasing. However, depending on the thickness of the insulation material used, the initial investment cost of the building is increasing. In this case, it is necessary to know the optimum thickness of the insulation in terms of energy saving. Therefore, optimum insulation thickness should be determined by cost analysis.*

*Wall models of external insulation application are examined. In the external insulation applications, also known as sheathing, the exterior walls of the building are covered with insulation material from the exterior. This system prevents possible heat bridges. Thus, stresses and cracks caused by temperature changes are prevented and the walls are protected from difficult conditions such as wind and rain. Therefore, the external insulation application is preferred as the most suitable system in terms of building physics. It was preferred to use external insulation for this study.*

*In this study, two different insulation materials (rockwool and glasswool) were applied to two different wall models (brick wall and aerated concrete wall) in Ankara. Natural gas is preferred as fuel. The economic analysis of the work was carried out by the method of  $P_1$ - $P_2$  based on life cost analysis and as a result optimum insulation thicknesses, energy saving and payback period of outer walls were determined. Optimum insulation*

*thicknesses were calculated as 0.051 m and 0.045 m, respectively, in the case of the application of rockwool to brick wall and aerated concrete wall system. For glasswool, these values were determined as 0.064 m and 0.057 m respectively. It has been determined that energy saving values have changed between 27.75 TL / m<sup>2</sup> and 46.10 TL / m<sup>2</sup>, and payback period have changed between 3.77 and 4.90 years.*

*As the insulation thickness increases, the annual fuel cost will decrease. If there is no insulation, annual fuel cost for brick wall is 9 TL / m<sup>2</sup> and for aerated concrete wall is 7.29 TL / m<sup>2</sup>. The annual fuel cost decreased when rockwool was applied in increasing thicknesses and these values were determined as 1.55 TL / m<sup>2</sup> and 1.49 TL / m<sup>2</sup> for 0.12 m thickness, respectively. When glasswool is applied, annual fuel costs determined for 0.12 m thickness are calculated as 1.72 TL / m<sup>2</sup> and 1.65 TL / m<sup>2</sup> for brick and aerated concrete wall models respectively.*

*The study also examined the effect of  $P_1$  and degree-day value on the insulation thickness for different insulation materials and wall types. It is understood that as the value of  $P_1$  and degree-day increases, the insulation thickness increases.*

*As a result, for both insulation materials, a lower insulation thickness is obtained if aerated concrete is used which has a smaller thermal conductivity value than the brick. The lowest insulation thickness was determined in the insulation system formed by the rockwool and aerated concrete wall model. The highest energy saving value is calculated in the insulation system formed by glasswool and brick wall model. The results are compared with the help of charts and graphs.*

**Keywords:** External wall insulation, Optimum insulation thickness, Life cost analysis,  $P_1$ - $P_2$  method





# Yürüme Engelli Bireyler İçin Kentiçi Ulaşımında Güzergah İyileştirme Önerisi: Pilot Bölge Çalışması

**Meltem SAPLIOĞLU\***

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Isparta, Türkiye  
[meltemsaplioglu@sdu.edu.tr](mailto:meltemsaplioglu@sdu.edu.tr) ORCID: 0000-0002-6590-8672, Tel: (246) 2111217

**Ayşe ÜNAL**

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Isparta, Türkiye  
[ayseunal@sdu.edu.tr](mailto:ayseunal@sdu.edu.tr) ORCID: 0000-0002-3262-135X

Geliş: 11.06.2018, Kabul Tarihi: 08.10.2018

## Öz

Yürüme engelliler için standartlara uygun ve akıllı ulaşım sistemleri gibi teknolojik sistemlerle destekli oluşturulabilecek yollarda ve kavşaklarda yapılacak iyileştirmelerin kent içi ulaşım planlamasında öncelik verilmesi, sürdürülebilirlik anlamında gerekliliği bilinen bir gerçektir. Bununla birlikte, tüm yol ağlarının veya kaldırımların akıllı ulaşım sistemi destekli iyileştirilmesi hem yüksek maliyetlidir, hem de mümkün olmamaktadır. Bazı güzergâhlar yürüme engelliler için çok eğimli, çok dar, çok pürüzlü, çok kalabalık... vb. olabilir. Bu nedenle akıllı kavşak destek sistemlerinin ve akıllı ulaşım sistemlerinin uygulanabileceği, engelliler için oluşturulabilecek, geometrisi düzleştirilebilecek güzergâhların seçiminin öncelikli olarak doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, ileride oluşturulacak akıllı ulaşım ve kavşak sistemleri ile donatılabilecek, yürüme engelli kişiler için güvenli, geometrisi uygun ve rahat kullanabilecekleri güzergâhların öncelikli olarak nereler olması gerektiği ortaya konmuştur. Bunun için engelli yol kullanıcılarına anketler yapılmış anket sonuçları doğrultusunda engelli yol standartlarında öncelikli olması gereken durumlar puanlanmıştır. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ve Coğrafi Bilgi Sistemi'nden (CBS) faydalanılarak, seçilen iki mahalleli pilot bölge kesiminde en uygun güzergâhlar ve öncelikli iyileştirilmesi gerekli güzergâhlar tespit edilmiştir. Ayrıca oluşturulan veri tabanı, hem belediyelere ileride gerçekleştirecekleri çalışmalarda destek olacak nitelikte, hem de ileride yapılabilecek harita ve navigasyon tabanlı platformların engelliler için daha uygulanabilir güzergâh seçimi yapmalarını sağlayabilecek düzeyde oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yürüme Engelli Erişebilirlik, CBS, AHY, Kentiçi Ulaşım Veri Tabanı

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.433008

## Giriş

Ülkemiz kentlerinin birçoğu şehirciliği en üst düzeyde yaşamış ve yaşama geçirmiş uygarlıklara ev sahipliği yapmıştır. Kentlerin oluşumundan bugüne gelen ortak payda, insanların birlikte ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yaşayabilmeleridir. Kent içi ulaşımında da durum böyle olmuştur. Fakat günümüzde, kentlerdeki hızlı nüfus artışı ve plansız büyüme etkisiyle, kent içi ulaşım ağlarında sorunlar, yaşamı zorlaştıran eksiklikler şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Bu önemli eksikliklerin en başlıca nedeni, hem ülkemizde hem de diğer birçok ülkede engellileri, yaşlıları ve çocukları ihmal eden, otomobil trafiği öncelikli ulaşım anlayışıdır. Bu nedenle kent içi ulaşım planlaması ve trafik düzenlemeleri çalışmalarında, savunmasız yol kullanıcıları olarak isimlendirilen yayalar, bisikletliler ve engellilere öncelik verilmesi, sürdürülebilir gelişim kapsamında gerekliliği bilinen bir gerçektir.

Her birey bağımsız ve eşit bir şekilde çevrede hareket edebilmelidir. Bu nedenle her ülkenin amacı tüm vatandaşlarına engelliler dâhil güvenli ve her noktaya erişilebilirlik imkânı sağlamak olmuştur (Yılmaz, 2012). Fakat, engelliler doğru planlanmayan, ulaşılabilir olmayan çevrede kendi günlük ihtiyaçlarını karşılamakta zorluk çekmekte, sosyal hayatın içinde yer alamamakta, dolayısı ile de iş gücüne katkıda bulunamamaktadırlar (Maraz, 2009). Ayrıca bir çok çalışma, tekerlekli sandalye kullanıcılarının kentiçi ulaşımında, potansiyel bir yönlendirmeye ve ulaşım akslarına ihtiyaç duyduğu üzerinedir (Mirri vd., 2014; Han vd., 2002).

Çalışmamızda yürüme engelli ve tekerlekli sandalye kullanan kişilerin geçtiği güzergâhları iyileştirmek ve güvenli hale getirmek için, ayrıca şehir bölge planlamacılara ve belediyelere destek olmak amacıyla öncelikli iyileştirilmesi gereken kaldırımlar ve alternatif yollar tespit edilmeye çalışılmıştır. Güzergâh tespitinde yürüme engellilerin tercihlerine uygun olma durumu gözetilmiştir. Bu amaçla, ilk olarak konu ile ilgili yapılmış çalışmalar ve mevcut kaldırım ve yol standartları incelenmiştir. Arazi çalışması için

pilot bölge seçilmiş ve seçilen pilot bölgede geometrik ölçümler (kaldırım genişliği, kaldırımda engel bulunup bulunmaması, kaldırımdan yola geçiş rampa eğimi, boyuna eğim) ve trafik hacim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yol kenarı park olup olmaması ve kavşaklarda sinyalizasyon durumu da veri tabanına işlenmiştir. Yürüme engelli 44 bireye uygulanan anketler kullanılarak yürüme engellilerin güzergâh seçim tercihleri Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi olan AHY (Analitik Hiyerarşi Yöntemi)'den faydalanarak ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra sayısal haritadan faydalanılarak gerekli analiz ve sorgulamalar yapılmış, çalışmanın son bölümünde ise öncelikli iyileştirilmesi gereken güzergâhlar, hiyerarşik olarak modellenen problemin mekânsal konum analizlerinden faydalanılarak tespit edilmiştir. Böylece hem yürüme engellilerin kullanabileceği harita tabanlı veri tabanı oluşturulmuş hem de belediyeler için öncelikli iyileştirilmesi gereken caddeler belirlenmiştir.

## Kentiçi Ulaşımında Engelli Yolları için Yapılan Çalışmalar

Engelliler için yollar ve kaldırımlarda rahat hareket ortamlarının sağlanması adına Türkiye ve Dünya'da tasarım standartları ve yönetmelikler hazırlanmıştır. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü (TSE) bu kuruluşların başında gelmektedir. En son 2005 yılında 5378 sayılı kanun ile ülkemizde engellilerin toplumda dışlanmasını engelleyen tedbirler alınması amaçlanmıştır. Engelli bireylerin haklarını güvence altına almak adına evrensel platformda; Dünya sağlık örgütü (WHO), Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), Birleşmiş Milletler Örgütü, Avrupa Birliği Ülkeleri Yerel Yönetimi, Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (1961) gibi kuruluşlar yasal düzenlemelerde bulunmuştur (Özdingiş, 2007). Fakat bu konuyla ilgili hukuki düzenlemeye sahip ülkelerde bile, engellilerin ulaşımı açısından kent içinde önemli problemler devam etmektedir (Nkwangu, 2008).

Yürüme engelli kişilerle ilgili yapılmış çalışmalar incelendiğinde, engelli insanların mekânsal yaşama katılımlarında mekânsal erişilebilirlik kavramı ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte tekerlekli sandalye kullanıcıları için oluşturulacak güzergâhların tespiti ve bu tespit sırasında veri tabanının kullanıldığı detaylı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan birçok çalışma, engelli bireylerin karşılaştıkları problemleri incelemek, mevcut durumları arazide gözlem ve değerlendirme yolu ile ortaya çıkarmak ve çözüm önerilerinde bulunmak şeklindedir (Sirel vd. 2012; Çivici ve Gönen 2015) Bu çalışmalarda ulaşılabilirlik, kaldırımlar ve rampalar, yaya yolları, toplu taşıma durakları, otoparklar ve yaya geçitleri referans noktası alınmış, TS 12576 standartlarına göre uygunlukları araştırılmıştır. Araştırma sonucunda engelli bireylerin alan ve mekânlara erişebilirliğinde ciddi aksaklıklar saptanmıştır. Ayrıca fiziksel engelli bireylerin erişilebilirliği hakkındaki şikâyetler ve istekler sorgulanarak, kentteki ulaşım imkânlarının fiziksel engelli bireyler için oldukça problemlili olduğunu tespit edilmiştir (Bekçi, 2012; Özdingiş, 2007; Kuter ve Çakmak, 2017; Dikmen, 2011; Bergün, 2016; Özcan, 2008; Maraz, 2009; Rosemary vd., 2007; True ve Türel, 2013; Kaya, 2015). Buna ek olarak Yılmaz vd. (2014) engelliler için uygun güzergâhları belirleme çalışması yapmıştır. Güzergâhları belirleyebilmek için fiziksel çevre etmenleri için fotoğraflar çekilmiştir. Buna göre tekerlekli sandalye kullanıcıları için en kısa güzergâhlar tespit edilmiştir.

Engelli bireylerin şehir merkezi ulaşımında sorun oluşturan parametreleri ele alan çalışmalardan biri Polat (1998)'in yaptığı anket çalışmasıdır. Ankete katılanların en çok etkilendiği kısıtlar; %6 döşemeler, %9 işaretler, %19 yol kenarı parklar, %8 oturma alanları, %12 rampa ve merdivenler, %18 yaya geçitleri, %25 dar yaya kaldırımları, %22 trafik olarak görülmüştür. Kısaca engelli yol seçiminde etkili mühendislik özelliklerini kapsayan alt yapı unsurları (Rimmer ve ark., 2004): yaya kaldırım geometrisi (eğimi, genişliği, üzerinde bir engel olup olmaması, yüksek bordürler, rampa eğimi), kavşaklarda sinyalizasyon durumu, yaya geçidi yerleri,

kaplama düzgünlüğü, yol kenarı araç parkları ve trafik hacmi olarak sayılabilir. Tüm bu parametrelerdeki problemler kentiçi trafikte engellilerin daha fazla kazaya maruz kalan kesim olmasına sebep olmaktadır. Özellikle kaldırımların dar olması veya düzgün olmaması (Kaplan ve Ulvi, 2009; Buldurur vd., 2007), kavşak geçişleri ve karayolu kullanımında, engelli bireylerin ulaşımındaki risk faktörlerini arttırmaktadır.

### **Engelli yol güzergâh seçimini etkileyen parametrelerin değerlendirilmesi**

Bedensel engelli veya tekerlekli sandalye kullanıcılarının kent içi yol kullanımı ile ilgili kaynak incelemeleri sonucu elde edilen parametreler: Kaldırım genişliği, rampa, boyuna eğim, kaplama, yol kenarı araç park durumu, kaldırım üzerinde engel durumu, trafik hacmi ve kavşakta sinyalizasyon durumu olarak tespit edilmiştir. Bu faktörlerin standartlardan olması gereken değerleri belirlenmiş ve arazi ölçümleri alınırken göz önünde bulundurulmuştur. Belirlenen değerlerin standartları kısaca aşağıdaki şekildedir.

Kaldırım genişliği; engelsiz bir yaya kaldırımı en az 1.5 metre, en ideal 2.0 metre genişlikte olmalıdır. Bu genişlik, otobüs duraklarında minimum 3.0 metre ve dükkan önlerinde minimum 3.5 metre olmalıdır (Özida, 2008; Özida, 2010; Sirel vd., 2012; Kuter ve Çakmak, 2017; Maraz, 2009). Robinette (1985)'nin yapmış olduğu çalışmada ise yaya yollarında tekerlekli sandalye kullanıcıları için yeterli genişlik, tekli geçişler için 122 cm olmalıdır. Şehir içinde mevcut olan 80 cm'den dar kaldırımlarda tekerlekli sandalye hareket etmesi mümkün değildir.

Eğim; tekerlekli sandalye kullananlar için kaldırımında boyuna eğim %5'ten fazla olmamalıdır. İsveç Yerel Yönetimler Birliği, %2.5 eğimin birçok kişi için sıkıntı oluşturmadığını, bu eğimden fazla eğimlerin bazı tekerlekli sandalye kullanıcıları için sorun teşkil edebileceğini ileri sürmüştür (Koca, 2010). Yaya

kaldırımlarında özellikle tekerlekli sandalye kullanıcıları açısından problem oluşmasını engellemek için kaldırımdaki enine eğimin %2'den küçük olması gerekmektedir. (TS12576, 1999; Tiyek vd., 2016).

Hareket kısıtlayıcı durumlar; kaldırım ve yol üzerinde bulunan engeller (trafik işaretleri, yön levhaları, yol planları, dubalar, bitkiler, ağaçlar vs.) bir platform ile yaya aksı üzerinden ayrılmalı ve platform 0.1 m yükseltilmelidir. Ayrıca engelin bulunduğu yerde bir uyarı işareti bulunmalı ve engelin bulunduğu alanın dışında ise en az 0.6m genişliğinde olmalıdır. Yol yüzeyinde engel oluşturan bitkiler en az 2.00m yüksekliğe kadar budanmaları gerekmektedir (Maraz, 2009; TS 12576, 1999). Elektrik, aydınlatma, trafik işaret direkleri ile süs bitkileri, çiçeklik/saksılar, yaya korkulukları vb. donatılar, yaya kaldırımı boyunca düzenlenecek asgari 50 cm genişliğindeki emniyet şeridi içinde düzgün olarak yerleştirilmelidir. Kaldırım üzerinde yer alan çöp kutuları yayaların hareketlerini kısıtlamamalı ve yaya kaldırımı kenarında bordür taşına en az 40 cm mesafede yer almalıdır. Yüksekliği en az 90 cm, en çok 20cm olacak şekilde yerleştirilmelidir (Koca, 2010).

Kaplama özelliği; yaya yolu ve banketlerde bulunan yağmur suyu ızgaralarının boşluklarının 13 mm'yi aşmaması, yaya yolunun yüzey kaplaması düzgün bir satha sahip olmalıdır. Mümkün olduğunca seçilen kaldırım malzemesi rahat ilerlemeyi sağlayacak; kaymayı önleyecek türde seçilmelidir (Yörük, 2003). Yüzey kaplamaları ve ızgaralar kaldırım yüzeyine eş düzeyde ve kaymaz özellikte olmalıdır.

Kaldırım rampaları; TS 12576 tasarım standartlarına göre yaya yolu üzerindeki seviye farklarının 1,3 cm'den fazla olan yerlere rampa yapılması gereklidir. Rampalar eğimi en fazla %8 olmalıdır. Kaldırım güzergâhı üzerine yapılacak rampa genişliğinin asgari 90 cm olması, rampaların başlangıç ve bitişlerinde tekerlekli sandalyenin manevra yapabileceği 150 cm x 150 cm'lik bir alanın olması gerekmektedir

(TS12576; Tiyek vd., 2016; Kuter ve Çakmak, 2017; ADAAG, 2004; Maraz, 2009).

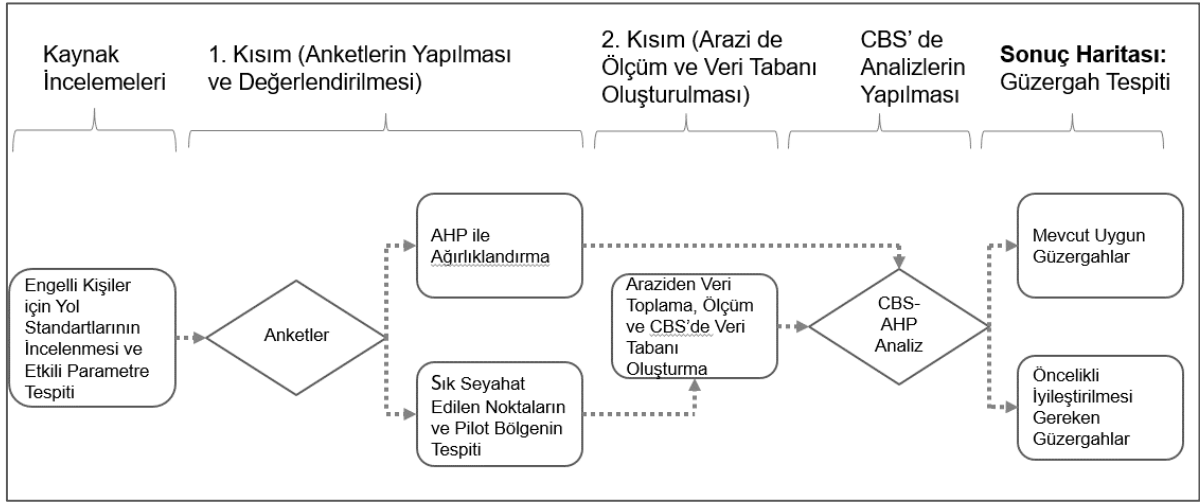
Sinyalizasyon; Kaya (2015) çalışmasında kullandığı anket sonuçlarında, %34.1 yaya geçitlerinin yetersiz olduğunu, %31.9 sinyalizasyonların eksik olduğunu belirtmiştir. Bekçi (2012) ise kavşaklarda engelliler için tehlikenin en aza indirilmesi adına sinyalizasyon sisteminin gerekliliğini vurgulamıştır.

Trafik hacmi ve yol kenarı park; trafik hacminin etkisiyle birlikte yol kenarı uygunsuz araç park edilmesi de engelli bireylerin hareketlerini önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Polat (1998) yapmış olduğu anket çalışmasında engelli bireylerin %22 trafik, %19 yol kenarı park etmiş araçların, engellilerin hareketlerini kısıtladığını belirtmiştir.

## Materyal ve Yöntem

Detaylı kaynak incelemeleri gerçekleştirildikten sonra çalışmanın materyal bölümü iki kısımda oluşturulmuştur. İlk kısımda, yürüme engellilerle anketler gerçekleştirilmiş, anketlerden faydalanarak öncelikli çalışılabilecek pilot bölge tespit edilmiş, yine ilk kısımda anketler kullanılarak kaynak inceleme sonucu elde edilen etkili parametreler ağırlıklandırılmıştır (Şekil 1). İkinci kısımda ise seçilen pilot bölgedeki tüm güzergâhlardan arazi ölçümleri alınmıştır. Metod olarak Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden AHY kullanılmış; Coğrafi Bilgi Sistemleri destekli mekansal sorgulama çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Isparta kent merkezinde ikamet eden rastgele seçilen 44 yürüme engelli bireye anketler uygulanmıştır. Ankette sorulan sorular değerlendirilirken, ilk olarak Isparta ili şehir merkezinde engellilerin sıklıkla kullandıkları güzergâh başlangıç ve bitiş noktaları tespit edilmiş, kullanım potansiyelleri yüksek olan; en sık seyahat edilen noktalar belirlenmiştir.



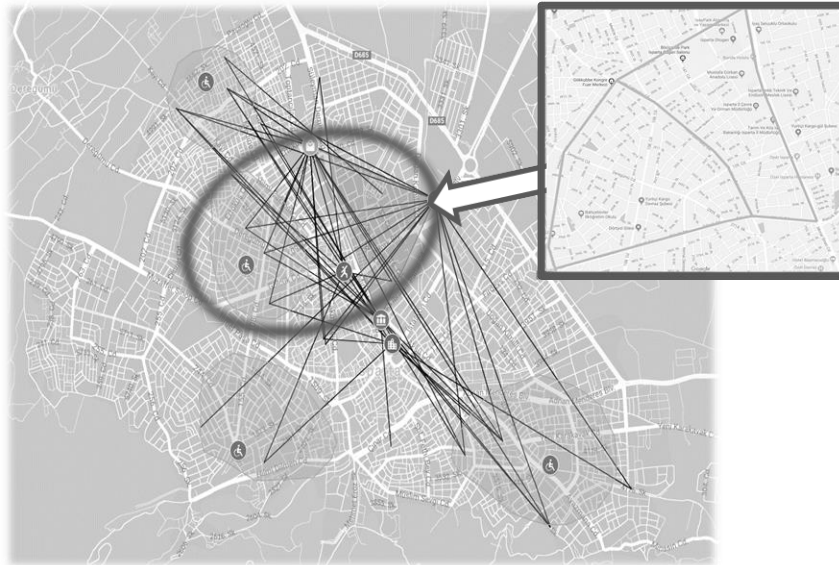
Şekil 1. Yürüme Engelliler İçin Kentiçi Erişebilirlik Haritası Oluşturulmasında İzlenen Adımlar

Engellilerin yoğun olarak Belediye-IYAŞ Alışveriş Merkezi-Şehir Hastanesi üçgeninde ulaşım bitiş noktası oluşturduğu görülmüştür. Şekil 2'de bu üç nokta ile oluşturulmuş sarı üçgen seyahat bitiş alanlarıdır.

Engellilerin yaşadığı konutlar başlangıç bölgesi kabul edilmiş ve şehir merkezi dört seyahat başlangıç bölgesine ayrılmıştır. Bu başlangıç bölgeleri arasında, yürüme engelliler için sadece tekerlekli sandalye ile ulaşabilecekleri mesafe göz önünde bulundurularak bir pilot bölge seçilmiştir. Seçilen pilot bölge Yedişehitler-Bahçelievler Mahallelerini kapsamaktadır.

Başlangıç noktası yaşadıkları konutlar; bitiş noktası-en sık ziyaret edilen- Alışveriş merkezi ve Şehir Hastanesi olarak alınmış bundan sonra yapılacak tüm analizler bu pilot bölge içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).

Daha sonra, etkili yedi parametre (kaynak incelemeleri sonucu elde edilen: Kaldırım genişliği, rampa, boyuna eğim, yol kenarı araç park durumu, kaldırım üzerinde engel durumu, trafik hacmi ve kavşakta sinyalizasyon durumu) engelli yol kullanıcıları tarafından 1'den 7'ye kadar kendileri için önem derecesine göre puanlandırılmıştır.



Şekil 2. Sık Seyahat edilen Noktalar ve Çalışma İçin Seçilen Pilot Bölge (Yedişehitler-Bahçelievler Mahalleler)

Bu puanlama sonuçlarını değerlendirebilmek ve ağırlıklandırabilmek karmaşık bir iştir. Böyle karmaşık karar verme süreçlerinde, her faktörün anlamı tespit edildikten sonra, kriterlerin puanlarını değerlendirirken, Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden AHY'nin yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir (Papaioannou vd., 2015; Boroushaki and Malczewski,2010;Chenetal.,2011).

Saaty (2003) tarafından geliştirilen AHY'nin en göze çarpan özelliği, karmaşık karar

problemlerinde, belirlenen tercih ölçeğinde nicel ve nitel kriterleri ve alternatif seçenekleri değerlendirebilmeyi kolaylaştırmasıdır.

Çalışmamızdaki parametrelerin önemli bir kısmı nitel verileri içermektedir. Bu nedenle parametrelerin önem ve öncelik derecesinin tespitinde AHY'den faydalanılmıştır. Engellilerce doldurulan anketlerde verilen puanlar kullanılarak parametrelerin ağırlıklandırılması için gerekli hesap adımları Şekil 3'deki gibi gerçekleştirilmiştir.

	K_Engel	Genişlik	T_Hacmi	Rampa	Sinyaliz.	Eğim	Kenar Park
K_Engel	1	1,18	1,19	1,20	1,25	1,26	1,45
Genişlik		1	1,01	1,02	1,06	1,07	1,23
T_Hacmi			1	1,01	1,05	1,06	1,22
Rampa				1	1,04	1,05	1,21
Sinyaliz.					1	1,01	1,16
Eğim						1	1,15
KenarPark							1

	K_Engel	Genişlik	T_Hacmi	Rampa	Sinyaliz.	Eğim	Kenar Park
K_Engel	0,41	0,56	0,46	0,39	0,28	0,35	0,25
Genişlik	0,10	0,14	0,23	0,20	0,19	0,14	0,18
T_Hacmi	0,10	0,07	0,11	0,20	0,19	0,14	0,14
Rampa	0,10	0,07	0,06	0,10	0,19	0,14	0,14
Sinyaliz.	0,14	0,07	0,06	0,05	0,09	0,14	0,14
Eğim	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,07	0,11
KenarPark	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04

	K_Engel	Genişlik	T_Hacmi	Rampa	Sinyaliz.	Eğim	Kenar Park
K_Engel	0,41	0,56	0,46	0,39	0,28	0,35	0,25
Genişlik	0,10	0,14	0,23	0,20	0,19	0,14	0,18
T_Hacmi	0,10	0,07	0,11	0,20	0,19	0,14	0,14
Rampa	0,10	0,07	0,06	0,10	0,19	0,14	0,14
Sinyaliz.	0,14	0,07	0,06	0,05	0,09	0,14	0,14
Eğim	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,07	0,11
KenarPark	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04

Ağırlıklar	
KenarPark	0,03
Eğim	0,07
Sinyalizasyon	0,10
Rampa	0,11
T_Hacmi	0,14
Genişlik	0,17
K_Engel	0,38

Şekil 3. Anket sonuçlarının değerlendirilmesi için AHY ağırlıklandırma sonuçları

Hesaplamalar sonucunda en önemli parametre kaldırımda engel olması (K\_Engel) olarak tespit edilmiş; diğerleri sırasıyla kaldırım genişliği (Genişlik), trafik hacmi (T\_Hacmi), kaldırımdan yola geçiş rampası (Rampa), kavşakta sinyalizasyon olması (Sinyalizasyon), boyuna eğim (Eğim) ve yol kenarı araç parkı (Kenar Park) olarak tespit edilmiştir (Şekil 3). Ağırlıklandırma sonucu elde edilen değerler Isparta merkezde yaşayan yürüme engelli bireylerin fikirlerini içerdiği açıktır. Aynı verilerin farklı kentlerde yaşayan engelliler için farklı öneme sahip olabileceği söylenebilir.

#### Arazi ölçümleri ve veri tabanı analizleri

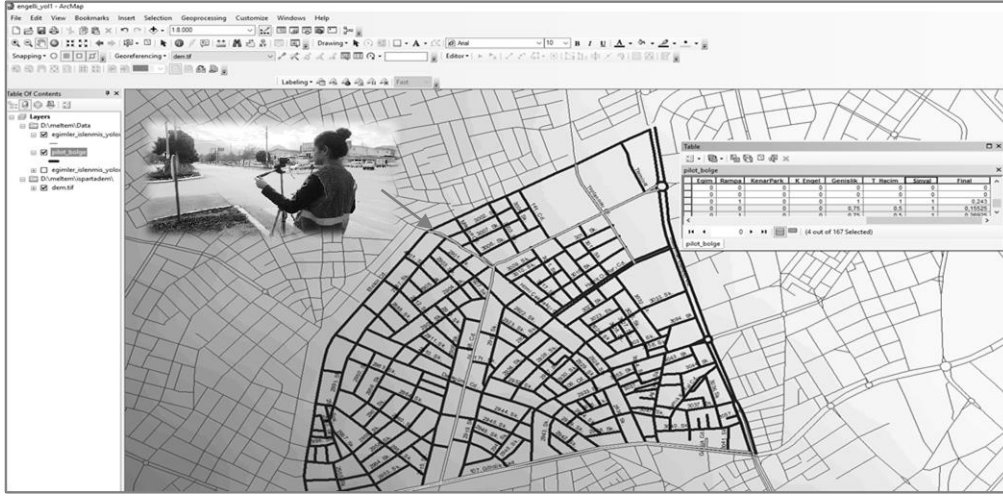
CBS yaygın olarak, mekânsal karar verme tekniklerinde veri toplama, işleme ve analiz için

AHP ile birlikte kullanılmaktadır (Polat, 2012; Oswald Beiler and Treat, 2014; Requa vd., 2016; Kumar, 2017; Banerjee ve Ghose, 2017; Zhang vd., 2013). Saha seçimi, ulaşım ağlarının değerlendirilmesi ve güzergâh seçimi gibi birçok karar, mekânsal konum ile ilgilidir. Çalışmamızda problem, hiyerarşik olarak modellendikten sonra ölçüt oluşturma ağırlıkları mekânsal karar analizi için, AHP ve CBS birlikte kullanılmıştır.

Parametrelerin CBS ile güzergâh seçiminde kullanılabilmesi için, Isparta ili şehir merkezi yol haritası vektör veri yapısında sayısallaştırılıp ArcMap 10'da hazırlanmış, gerekli topolojiler kurulmuştur. Seçilen pilot bölgedeki (14 adet cadde ve 134 adet sokakta) kaldırım genişlikleri

ölçülmüş, yol kenarı park durumu tespit edilmiş, kaldırım üzerinde engel olup olmadığı kaydedilmiştir (Şekil 4). Ek olarak Cadde ve

sokakların pik saatlerdeki trafik hacmi kamera kayıtları tespit edilmiş, sinyalizasyonlu kavşaklar işaretlenmiştir.



Şekil 4. Sayısal veri tabanı oluşturulması ve sorgulama ekranı

Toplanan tüm veriler ArcMap ortamında öznetelik tablosuna işlenip sayısal harita ile ilişkilendirilmiştir. Daha sonra, (SQL) Yapısal Sorgu Dili kullanılarak hazırlanan öznetelik verilerine dayanan sorgular gerçekleştirilmiştir. CBS'nin en güçlü özelliklerinden biri, harita öğelerine öznetelik verilerinden erişme veya sorgulama yapma yeteneğidir. Öznetelik verilerine dayalı sorgu, standart veri tabanı sorgularıdır. Böylece sorgu harita üzerinde gösterilebilir. Boyuna eğimlerin cadde ve

sokakların veri tabanında gösterilebilmesi için de sorgulamalardan hemen önce cadde ve sokaklardaki kaldırımların eğimleri adım adım hesaplanmış ve öznetelik tablosuna eklenmiştir. Bunun için arazinin topografik bilgisinden faydalanılmış ve DEM data-30 metre (ASTER GDEM, 2017 ) kullanılmıştır. Yüzey bilgisi, Arc Toolbox'ta 3D analiz yüzey fonksiyonu kullanılarak ortalama yüzey eğimi elde edilmiştir (Şekil 5).







## Sonuçlar ve Tartışma

Isparta ili kent merkezinde yürüme engelli kişilerin, yaşlıların ve sınırlı hareket kabiliyeti olan diğer kişilerin rahatlıkla kullanabileceği güzergâhlar için öncelikle olması gereken yol geometrik standartları tespit edilmiş, yürüme engellilerle güzergâh seçiminde tercih ettikleri yol ve geometrileri üzerine anketler yapılmıştır. Arazi ölçüm ve incelemelerinde pilot bölge içinde özellikle sokak kenarlarındaki kaldırımlarda ağaç, reklam panosu, çöp kutusu gibi engellerin yoğun olarak mevcut olduğu görülmüş, bu kesimlerin de veri tabanında yer alması sağlanmıştır.

Çalışma için anketler sonucunda seçilen pilot bölgede (Yedişehitler-Bahçelievler Mahalleleri) Konumsal Karar Verme Sistemlerinden Analitik Hiyerarşi Yöntemi destekli Coğrafi Bilgi Sistemi analizi sonucu elde edilen harita analiz ve değerlendirmelerinde, en uygun güzergahın Süleyman Demirel Cad., Hamitoğulları Cad. ve 107. Cad olduğu tespit edilmiştir. Diğer cadde ve sokaklar için öncelikli iyileştirilmesi gereken kesimler belirlenmiştir. Kent planlama ve uygulayıcıların özellikle Belediyelerin öncelikle iyileştirmesi gereken cadde ve sokakları düzenlemeleri ileride karşılaşılabilecek bütçe problemlerini de çözecektir. Ayrıca öncelikli iyileştirilecek olan güzergâhların akıllı kavşaklarla donatılmasında, elde edilen sonuç haritasının ve veri tabanının ileriki çalışmalara altlık oluşturacağı düşüncesindeyiz.

## Kaynaklar

- ADAAG, (2004). American disability act accessibility guideline, *ABD Standards*, Washington.
- ASTER global digital elevation model (ASTER GDEM), (2017). <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/4.html>, (15.08. 2017).
- Banerjee, P. ve Ghose, M. K., (2017). A geographic information system-based socioeconomic impact assessment of the broadening of national highway in Sikkim Himalayas: a case study, *Environment*,

- Development and Sustainability*, **19**, 6, 2333-2354.
- Bekci, B., (2012). Fiziksel engelli kullanıcılar için en uygun ulaşım akslarının erişebilirlik açıdan irdelenmesi: Bartın Kenti örneği, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, **14**, 26-36.
- Bergün, S., (2016). Avrupa Kentsel Şartı'nın kentlerdeki özürü ve sosyo-ekonomik bakımdan engellilere yönelik ilkeleri ve bursa kentinde kamu kurum ve kuruluşlarının erişilebilirliği, *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, **8**, 1, 61-72.
- Borouhaki, S., Malczewski, J. (2010). Measuring consensus for collaborative decision-making: A GIS-based approach. *Computers, environment and urban systems*, **34**(4), 322-332.
- Buldurur, M. A., Yavaş, H., (2007). Kentsel mekanın özürülöerce kullanımının değerlendirilmesi: İstanbul örneği, *Öz-Veri Dergisi*, *T.C. Başbakanlık Özürülöer İdaresi Başkanlığı Hakemli*, **4**, 1, Ankara.
- Chen, Y. R., Yeh, C. H., Yu, B. (2011). Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan. *Natural Hazards*, **59**(3), 1261-1276.
- Çivici, T. ve Gönen, D., (2015). Balıkesir Üniversitesi Çağış yerleşkesinin bedensel engelli öğrencilerin sosyal alanlara ulaşabilirliğinin değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, **3**, 3, 639-646.
- Dikmen B., (2011). Avrupa kentsel şartı ulaşım ve dolaşım ilkeleri kapsamında engellilerin kentsel alan ve yapılarla erişilebilirliklerinin sorgulanması: Yozgat örneği, *e-Journal of New World Sciences Academy*, **6**, 4, 838-858.
- Han, C.S., Law, K.H., Latombe, J.C. ve Kunz, J.C., (2002). A performance-based approach to wheelchair accessible route analysis. *Advanced Engineering Informatics*, **16**, 53-71.
- Kaplan, H. ve Ulvi, H., (2009). Engellilerin kaldırım ve yaya geçitlerinde karşılaştıkları kaza riskleri: Konya Kent merkezi örnekleme, *ÖZ-VERİ Dergisi*, *T.C. Başbakanlık Özürülöer İdaresi Başkanlığı Hakemli*, **6**, 2, 1483-1512, Ankara.
- Kaya, S., (2015). Düzce Kent merkezi yaya yollarında engelli erişebilirliği, *Yüksek lisans tezi*, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Koca, C., (2010). Engelsiz şehir planlama bilgilendirme rapor, İstanbul: Dünya Engelliler Vakfı.

- Kumar, S., Srivastava, P. K. ve Snehmani, (2017). GIS-based MCDA–AHP modelling for avalanche susceptibility mapping of Nubra valley region, , *Geocarto International*, **32**, 11, 1254-1267, Indian, Himalaya.
- Kuter, N. ve Çakmak, M., (2017). Kamusal dış mekanlarda engelliler için tasarım: Ankara, Seğmenler Parkı örneği, *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, **3**, 2, 93-110.
- Maraz, E., (2009). Özürlülerin kent içinde erişebilirliğini etkileyen standartlar; (Mecidiköy ve Yenibosna metrobüs duraklarının incelenmesi, *Yüksek lisans tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mirri, S., Prandi, C., Salomoni, P, Callegati, F. ve Campi, A., (2014). On combining crowdsourcing, sensing and open data for an accessible smart city, *In Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies*, 294–299, Oxford, UK.
- Oswald Beiler, M. R. ve Treat, C., (2014). Integrating GIS and AHP to prioritize transportation infrastructure using sustainability metrics. *Journal of Infrastructure Systems*, **21**, 3.
- Özcan Y., (2008). Engelli standartlarının Adana Kenti açık ve yeşil alanlarında analizi ve uygulama önerileri, *Yüksek lisans tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Özdingiş, N., (2007). İstanbul Kent parklarının bedensel özürlüler açısından değerlendirilmesine yönelik bir araştırma, *Yüksek lisans tezi*, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özida (Başbakanlık Özürlüler İdaresi Başkanlığı), (2008). Herkes için ulaşılabilirliğin iyileştirilmesi: örnek uygulama rehberi, *Başbakanlık Özürlüler İdaresi Başkanlığı*, **48**, Ankara.
- Özida (Başbakanlık Özürlüler İdaresi Başkanlığı), (2010). Yerel yönetimler için ulaşılabilirlik temel bilgiler teknik el kitabı, 49, Ankara.
- Papaioannou, G., Vasiliades, L., & Loukas, A. (2015). Multi-criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping. *Water resources management*, 29(2), 399-418.
- Polat, E., (1998). Özürlüler için tasarımda erişebilir ve yaşanabilir yaya mekanları: Ankara-Kızılay merkez yaya Bölgesi'nde Sakarya Caddesi yaya mekanı örnekleme, *Yüksek lisans tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Polat, E., (2012). An approach for land-use suitability assessment using decision support systems, *AHP and GIS, Green and Ecological Technologies for Urban Planning: Creating Smart Cities*, 212-233.
- Requia, W. J., Roig, H. L., Koutrakis, P. ve Rossi, M. S., (2016). Mapping alternatives for public policy decision making related to human exposures from air pollution sources in the Federal District., *Land use policy*, **59**, 375-385, Brazil.
- Rimmer, H.J., Riley, B., Wang, E., Rauworth, A. ve Jurkowski, J., (2004). Physical activity participation among persons with disabilities, *American Journal of Preventive Medicine*, **26**, 5, 419-425.
- Robinette, Gary O., (1985). Barrier Free Exterior Design: Anyone can go anywhere. Newyork: Van Nostrand Reinhold Company.
- Saaty, T. L. (2003). Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European journal of operational research*, 145(1), 85-91.
- Sirel B., Boyacıgil, O., Duymuş, M., Konaklı, N., Altunkasa, F., Uslu C. (2012). Çukurova Üniversitesi Yerleşkesi Açık Alanlarının Fiziksel Engelliler Bakımından Ulaşılabilirliğinin Değerlendirilmesi. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture* 27(1), ss.53-72.
- True, E. M., Türel, H. S. (2013). Yapılı çevrelerin fiziksel engelliler yönüyle kullanılabilirliği: İzmir Kenti Örneği. *Artium*, 1(1).
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), (1999). Şehir İçi Yollar – Özürlü ve Yaşlılar İçin Sokak, Cadde, Meydan ve Yollarda Yapısal Önlemler ve İşaretlemelerin Tasarım Kuralları. Hazırlık Grubu: Şehir İçi Yollar Özel Daimi Komitesi, TS No:12576
- Yılmaz, M. G., (2012). Herkes için tasarım ve kamusal alan, *Güney Mimarlık*, 10.
- Yılmaz T., Olgun R., Şavklı F. ve Öter B., (2014). Kentsel yeşil alanlarda tekerlekli sandalye kullanıcıları için engelsiz rota belirlenmesi: Antalya Atatürk Kültür parkı örneği, *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, **4**, 9, 1-14.
- Yörük, Ü. K., (2003). Turizm yapıları tasarımda özürlü etmenin irdelenmesi. *Yüksek lisans tezi*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhang, X., Fang, C., Wang, Z., & Ma, H., (2013). Urban construction land suitability evaluation based on improved multi-criteria evaluation based on GIS (MCE-GIS): Case of New Hefei City, China. *Chinese Geographical Science*, **23**, 6, 740-753.

## **Proposal for Route Improvement in Urban Transportation for Disabled People: Pilot Region Study**

### **Extended abstract**

*It is a well-known fact that prioritization of improvements of disabled persons' paths by using technological systems such as intelligent transport systems and designing geometries in standard forms, for safe and convenient walking in urban area is a necessity in terms of sustainability. However, it is both costly and impossible to improve all of the road networks or sidewalks with intelligent transportation system support. Some routes are very sloping, too narrow, too rough, too crowded ... etc. for walking disabilities. For this reason, the selection of routes that can be applied to intelligent intersection support systems and intelligent transportation systems, and of which the geometry can be adjusted for obstacles, must be prioritized correctly.*

*In this study, it is aimed to realize a more accurate selection of routes that can be created in the future and which can be used safely and comfortably by people with walking disabilities. The sub-objectives of the study are briefly:*

- *Attention to the necessity that the database of future map and navigation based platforms should be compatible with disabled road selection parameters,*
- *Identify the routes that the municipalities should prioritize for improvement arrangements,*
- *Increasing route usability for people with obstacles and restricted mobility is another goal of our study.*

*For this purpose, a questionnaire was made with the disabled road users registered in Orthopedic Handicaps Association in Isparta. In the direction of the survey results, criteria that should be priorities in disabled road standards are scored. The questionnaire was designed to identify the parameters affecting the choice of the route for disabled people and to show which parameters are more important for them. The effective parameters are about road or pavement usage, pavement obstacle, pavement width, road surface coverage, longitudinal slope, ramp condition, roadside parking condition and signaling status of intersections.*

*The results of the face-to-face surveys were evaluated with the Analytical Hierarchy Method (AHP) from*

*multi-criteria analysis methods and a database was created by associating with Isparta city center digital map using Geographic Information System (GIS) program. Utilizing the Analytical Hierarchy Process (AHP) and the Geographic Information System (GIS), the most appropriate routes and the routes that need priority improvement have been identified in the selected two-district pilot region segment. In addition, the created database is designed to be able to support both municipalities in future works and to make possible future map and navigation based platforms to make more feasible route selection for the disabled.*

**Keywords:** *Disability Accessibility, GIS, AHP, Urban Transportation Database*



## Su talep seviyesine göre kurak veya sulak dönem analizi

**Eyüp ŞİŞMAN**

*İstanbul Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.*

*İstanbul Medipol Üniversitesi, İklim Değişikliği Uygulama ve Araştırma Merkezi (İKLİMER), Kavacık, 34810, İstanbul.*

*[esisman@medipol.edu.tr](mailto:esisman@medipol.edu.tr) ORCID: 0000-0003-3696-9967, Tel: (216) 681 56 20*

Geliş: 31.07.2018, Kabul Tarihi: 08.09.2018

### Öz

*Sulaklık ve kuraklık su talebinin, yağış ve akış miktarları ile kıyaslanması sonucunda, ortaya çıkan fazlalık veya eksikliklerin birer fonksiyonudur. İhtiyaç seviyesine göre dengeli olması için çalışılan bu iki durum, bilimsel yöntemler kullanılarak üretilen bilgi ile yönetilemediğinde beraberinde pek çok soruna sebep olabilir. Sulaklık durumunda ortaya çıkan problemler, nispeten daha kısa sürelerde ve kendiliğinden ortadan kalkabilirken, özellikle iklim değişikliği ile etkileri daha da artan kuraklık problemlerine zamanla çözüm bulunmadığında çok daha karmaşık bir duruma gelecektir. Sulaklık ve kuraklık sorunlarının ortadan kaldırılması veya etkilerinin azaltılması için, bu iki husus çözümde birlikte ele alınıp değerlendirilmeli ve denge kurulmalıdır. Eğer denge sağlanamaz ise, meteorolojik kuraklık ile başlayan süreç hidrolojik, tarımsal ve sosyal kuraklık şeklinde birçok alanda geri dönülemeyecek tahribata sebep olacaktır. Başlangıçta az bilinmeyenli denklemler ile ifade edilebilecek bu problemler ve süreç, iyi yönetilemediğinde sonraları karmaşıklaşarak çok bilinmeyenli duruma dönüşecektir. Bu çalışma ile sulaklık ve kuraklık özellikleriyle ilgili problemlerin başında ihtiyaç duyulacak, dengeye yönelik bazı matematik denklemlerin elde edilmesine çalışılmıştır. Talep (eşik-kesme) seviyesi ile kuraklık ve sulaklık özellikleri arasında kurulabilecek ilişkiler araştırılmıştır. Araştırma sonucunda yağış ve akış verileri kullanılarak, talep ile kuraklık ve sulaklık süreleri, ortalama yıllık eksiklik ve fazlalık miktarları arasındaki geometrik ilişkiler polinom, üssel ve kuvvet fonksiyonları ile tanımlanmıştır. Su konusunda çalışan uzmanlar burada sunulan model yaklaşımı ile bölgesel talep seviyeleri ve gözlenen verilere uygun sulaklık ve kuraklık özellikleri arasındaki ilişkilere ait grafikleri elde ederek daha etkin tasarım, planlama, işletme ve su yönetimi sağlayabilirler.*

**Anahtar Kelimeler:** Hidroloji; Matematik Modelleme, Kuraklık; Sulaklık; Talep seviyesi; Su Kaynakları Planlaması

\*Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.449592

## Giriş

Günümüzün küresel sorunları arasında en önemlilerinden biri iklim değişikliğidir. En önemli denilmesinin sebebi sorunun çözümü ile de ilgili bir durumdur. Bu sorunun çözümü için, uluslararası mutabakata ve önlemlere, uzun bir süreye, en önemlisi de üretim ve tüketim alışkanlıklarımızın gözden geçirilmesine ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. Çözüme ilişkin sıralanan tüm bu önerilerin uygulamaya konulmasındaki güçlüklerden ötürü, bu şekilde devam edilirse bugün olmasa da yakın gelecekte iklim değişikliği en önemli küresel sorun olacaktır. İklim değişikliğine bağlı problemlere çözüm bulunmaması, özellikle su kaynakları üzerinde pek çok olumsuz etkiye sebep olmaktadır. Bu nedenle su kaynakların her zamankinden daha fazla, sayısal ve sözel veriler ışığında üretilecek bilimsel bilgi ile yönetilmesi ve politikaların belirlenmesi gerekir. Su ihtiyacının arttığı ve değerlendirildiği içinde bulunduğumuz dönemde, belli zamanlarda ihtiyaçtan fazla olan su, özellikle aşırı kurak dönemler için depolanmalıdır. Bu önlemin uygulaması ve su kullanımına yönelik her geçen gün artan taleple birlikte iklim değişikliğinin bu talebi arttıran etkisine karşı, gerek su kaynaklarının ve su sistemlerinin tasarımında ve gerekse mevcut sistemlerin işletilmesi, bakımı, yenilenmesi için bölgesel veri kaynaklı yeni yaklaşım ve araştırmalara ihtiyaç vardır.

Türkiye’ de toplam su tüketiminin, 2004’ ten 2030 yılına kadar yaklaşık olarak üç kat artacağı tahmin edilmektedir (Silkin, 2014). Bu oranda bir su tüketim artışının karşılanabilmesi için, yakın gelecekte havza içi ve havzalar arası su transferler planlarının yapılması gerekecektir. Şartlara bağlı olarak öncelikle, su talebi olan bölgeye en yakın düşen yağış fazlalığı ihtiyaç ölçüsünde tutulmalı ve depolanmalıdır. Plan için ilk olarak gelecek talep tahminlerinin bilinmesi gerekir. Bu tahminlere göre belli süreli meteorolojik ve/veya hidrometeorolojik kayıtlar incelenip, uygun matematik modeller yardımıyla istenen ve/veya mümkün en iyi plan ortaya konulur. Uygulanabilir planlar için, hidrometeorolojik yağış ve akış verilerini kullanan, basit matematik modeller geliştirmek

önemlidir. Ölçülen verilerin sık sık analizi yerine, tercihen zaman zaman güncellenen bilimsel temelli matematik modeller hem iyi bir alternatif hem de uzmanlar açısından daha pratik olacaktır. Ayrıca bu matematik modeller yeterince veri ile doğru ve uygun şekilde oluşturulduğunda gelecek öngörülerinde bulunulabilir.

Matematik modelleme sonucunda pratikte kullanılacak grafiklerin elde edilmesi için, hidrometeoroloji istasyonlarının geçmiş gözlemlerine ve bölgenin talep tahminlerine ihtiyaç vardır. Araştırılan modelde sulaklık ve kuraklık büyüklükleri, rastgele seçilen değişken talep seviyelerine göre tanımlanmıştır. Akış veya yağış verilerinden oluşan bir zaman serisinde, kayıt uzunluğu boyunca, kurak (sulak) dönemlerden sulak (kurak) dönemlere rastgele aralıklarla sıralı sürekli bir geçiş söz konusudur. Bu geçişler ne kadar sık ise bölge o kadar çok sulaklık veya kuraklığa maruz kalır. Kurak dönemlerin sulak dönemler ile dengelenmesi ve bölge insanların ihtiyaçlarının kesintisiz şekilde karşılanabilmesi için, uzmanlar mevcut durumu iyi analiz edip, bölgesel basit ve aynı zamanda pratik modeller geliştirilmelidir. Kuraklık ile karşı karşıya kalındığında, fazla suyun olduğu zamanların önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Sulak zamanlar iyi değerlendirilebilse kuraklık bile yaşansa şiddetini azaltmak mümkün olacaktır.

Kuraklık konusunda literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, genel olarak kuraklık olaylarının içerdiği belirsizliklerden ötürü hesaplamalarda istatistik, ihtimal ve stokastik yöntemlere ağırlık verilmiştir. İlk olarak kuraklıkla ilgili herkesin üzerinde hem fikir olacağı bir tanımlamayı gidişler yöntemi ile Yevjevich (1967)’ de ortaya koymuştur. Zaman içerisinde kuraklık süresi, şiddeti ve çeşitli kuraklık özellikleri üzerine önemli pek çok araştırma yapılmıştır (Yevjevich, 1975; Yevjevich, 1976; Şen, 1976; Şen, 1977; Şen, 1978; Şen, 1980; Şen, 1989; Şen, 1990; Şen, 1998; Beyazıt ve Önöz, 2005).

Kuraklıkla ilgili son dönem çalışmalarında özellikle kuraklığı tanımlamak ve izlemek için genelde uygulamada indislerin üzerinde durulduğu görülmektedir. Bunlar içerisinde çok bilinen ve kullanılanları, Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PKŞİ) ve Standartlaştırılmış Yağış İndisidir (SYİ) (Palmer, 1965; McKee vd., 1993). Ülkemizde de bu indisler kullanılarak çok sayıda araştırma yapılmıştır (Kömüşçü vd, 2003; Yeğnidemir, 2005; Atmaca, 2011; Akbaş, 2013; Tatlı ve Türkeş, 2011; Türkeş vd, 2009).

Bu model çalışmasında kesme seviyesi teorisi gidişler yönteminden esinlenilmiştir (Rodriguez-Iturbe, 1969; Yevjevich, 1967). Çalışma kapsamında değişen ihtiyaç seviyelerine göre, suyun dengelenmesine yönelik sulaklık ve kuraklık özelliklerinin belirlenebildiği, bölgesel kullanılabilir basit ve pratikte uygulanabilir bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Eksiklik (kuraklık) ile fazlalık (sulaklık) çözümlenmelerinin kalıcı ve sürdürülebilir olması için, birlikte mütalaa edilmesinin gerekli olduğu düşünüldüğünden, bu çalışmada bu iki durum da model yaklaşımında dikkate alınmıştır. Çalışmanın temel amacı model kurulumu için yeterli ölçüm verisine sahip bölgelerdeki, kuraklık ve sulaklık özelliklerini ortaya koyan her bir değişken arasında kavramsal, rasyonel ve ampirik eşitliklerin elde edilerek pratik kullanıma sunulmasıdır. Model çözümleri sonucunda elde edilen polinom, üssel ve kuvvet fonksiyonları eşitlikleri yardımıyla kuraklık ve sulaklık özellikleri arasındaki ilişkiler tanımlanmıştır.

## Yöntem

İlk olarak, kuraklık ve sulaklık özelliklerini sayısal değerler üzerinden tanımlayabilmek için, talep miktarı, eşik değer, kritik tasarım seviyesi ve benzer ölçütlere göre, referans kesme seviyesi değerleri belirlenir. Sonra, Şekil 1’ den görüldüğü gibi,  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  değerlerine sahip yağış ve/ya akış verilerinden oluşan bir zaman serisi kullanılarak, belirlenen referans kesme seviyelerine ( $X_K$ ) göre, kuraklık ve

sulaklık dönemleri için modelin diğer değişkenleri (toplam sulak süre, toplam kurak süre, ortalama fazla su miktarı, ortalama eksik su miktarı) elde edilir. Zaman serisine göre değişkenin aldığı her bir değer, belirlenen referans kesme seviyesinden büyükse sulaklık, küçükse kuraklık özellikleri tanımlanmaktadır.

Şekil 1’ de görüldüğü gibi kesme seviyelerine göre, kurak süreler  $S_{K1}, S_{K2}, S_{K3}, \dots$  sulak süreler ise  $S_{S1}, S_{S2}, \dots$  şeklinde tanımlanmıştır. Belirlenen kesme seviyeleri için, zaman serisi boyunca olan toplam kuraklık süresi, parça parça her bir kuraklık süresinin toplanması ile “ $S_{KT}=S_{K1}+S_{K2}+S_{K3}+\dots$ ” şeklinde, toplam sulaklık süresi ise benzer şekilde sulak sürelerin “ $S_{ST}=S_{S1}+S_{S2}+\dots$ ” toplamı olarak ifade edilir.

Her bir kurak ve sulak süreye karşı gelen eksiklik (eksik kalan su miktarlarının toplamı) ve fazlalık değerleri ise (fazla gelen su miktarlarının toplamı)  $E_T=E_{T1}+E_{T2}+E_{T3}+\dots$  ve  $F_T=F_{T1}+F_{T2}+\dots$  şeklinde talep kesme seviyesinin altında ve üstünde kalan alanların kendi içinde toplanması ile hesaplanmıştır (Şekil 1).

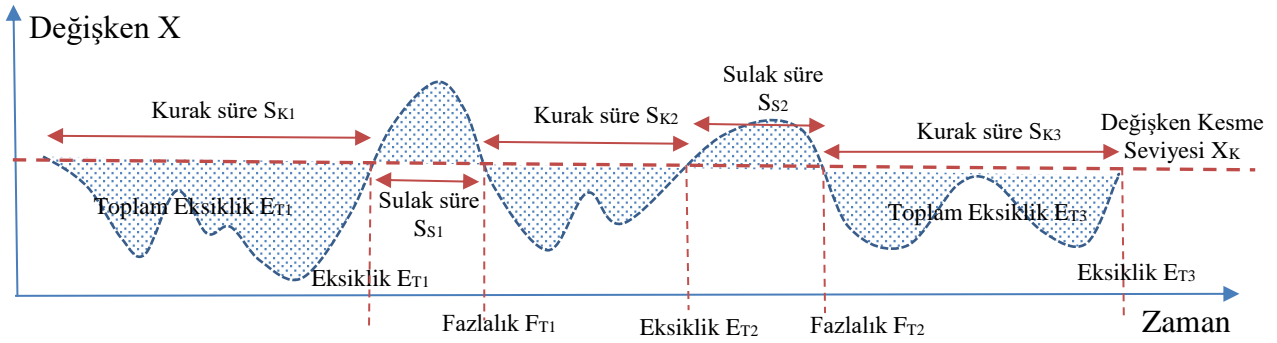
Ortalama fazlalık ve eksiklik miktarı, 1 numaralı eşitlik ile ifade edilmiştir.

$$E_M = \frac{E_T}{S_{KT}}; F_M = \frac{F_T}{S_{ST}} \quad (1)$$

Ortalama yıllık sulaklık süresi ve kuraklık süresi ise 2 numaralı denklem ile verilmiştir. N yıl olarak zaman serisi kayıt uzunluğudur.

$$S_S = \frac{S_{ST}}{N}; S_K = \frac{S_{KT}}{N} \quad (2)$$

Modelde kullanılan bağımsız değişken  $X_K$  ile bağımlı değişkenler  $S_K, S_S, E_M$  ve  $F_M$  arasındaki ilişkiler, kartezyen koordinat takımında ortaya çıkan geometriye uygun, matematik eşitlikler yardımıyla kurala bağlanmıştır.



Şekil 1. Kuraklık ve sulaklık gidiş bileşenleri

Uygulama için her bir referans kesme seviyesi baştan yapılan kabul ile belirlenmiştir. Bunun için verilere uygun, %5, %10, ... , %95 değişim aralıkları istatistiksel yöntemler yardımıyla hesaplanmıştır. Yapılan uygulamalarda, modelin aşırı uç olaylar için bilinen ve yaygın kullanılan matematik fonksiyonlar (üssel, kuvvet, polinom) ile ifade edilemediği görülmüştür. Uç olayları temsil eden aşırı kurak ve aşırı sulak durumlar, %5 altı ve %95 üzeri değerler, için farklı modeller ve matematik fonksiyonlar araştırılabilir.

### Çalışma Alanı

Modelin uygulama bölümü için Türkiye' den üç istasyon seçilmiştir. Bunların ikisi meteoroloji yağış gözlem istasyonu ve biri akım gözlem istasyonudur. Yağış istasyonları Diyarbakır ve Ankara illerinde yer almaktadır. Akım istasyonu ise Ergene havzasında Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesindedir. Yağış verileri 1931-2010 yılları arasındaki, akım verileri ise 1957-2013 yılları arasındaki aylık verilerden oluşmaktadır.

Diyarbakır ili Güneydoğu Anadolu Bölgesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Yaz ayları sıcak, kış ayları bir hayli soğuk geçer. 1931-2010 yılları ortalama aylık yağış kayıtları incelendiğinde en fazla yağış Ocak ayında 73.09 (mm/ay), en az yağış ise Ağustos ayında 1.89 (mm/ay) görülmüştür. Yağışlar Ekim ayından başlayarak Mayıs ayına kadar devam eder. Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları oldukça kurak geçer. Hatta bazı yıllarda bu aylarda hiç yağış olmamıştır.

Diğer yağış istasyonunun olduğu Ankara ilinde seçilen yağış istasyonu 1931-2010 verileri uzun yıllar ortalamasına göre Mayıs ayında 51.11(mm/ay) en fazla yağış görülmüştür. Sırasıyla Nisan ayı ortalamaları 44.71(mm/ay) ve Aralık ayı ortalaması ise 44.43 (mm/ay) dir. Ocak 39.56 (mm/ay), Şubat 36.25 (mm/ay), Mart 36.59 (mm/ay), Haziran 33.71 (mm/ay) ve Kasım 32.40 (mm/ay) ayları uzun dönem ortalama yağış miktarları hemen hemen birbirine yakın seyretmektedir. Ağustos ayı ortalama 10.40 (mm/ay) ile en az yağışın görüldüğü ay olmuştur.

Lüleburgaz Akım gözlem istasyonu Kırklareli ilinde Marmara bölgesinde yer almaktadır. Ergene havzasında bulunan istasyon 1948 yılında açılmıştır. Yaklaşık 2794 km<sup>2</sup> bir yağış alanına sahiptir. Uzun yıllar ortalamalarına göre Şubat ayı, akım debisinin 21.12 m<sup>3</sup>/sn en yüksek olduğu zamandır. Ocak, Mart ve Aralık aylarında ortalama akım debileri sırasıyla 17,87-17.24-16.82 m<sup>3</sup>/sn dir. Temmuz, Ağustos ve Eylül en kurak aylardır. Bu aylarda gözlenen ortalama akım debileri uzun dönem kayıtlarına göre 2.39-2,01 ve 2.60 m<sup>3</sup>/sn dir. Temmuz, Ağustos ve Eylül akım debileri incelendiğinde sifıra yakın değerler vardır. 1961, 1972 ve 1974 yılları Temmuz, Ağustos ve Eylül en kurak aylar olmuştur. 2013, 1963, 1966 ve 1998 Aralık, Ocak, Şubat ve Mart en sulak aylardır. 52 Yıllık veri kaydı içerisinde 1963 Şubat ayı 99.93 m<sup>3</sup>/sn debi ile en yüksek akımın görüldüğü ay olmuştur.1962 Ağustos ayında istasyonun olduğu nehir kurduğu için, akım ölçüm debisi sıfır olarak kayıtlara geçmiştir.

Tablo 1. Seçilen istasyonlara ait bilgiler

İstasyon Adı	İstasyon No	Enlem N°	Boylam E°	Yükseklik (m)
Ankara	17130	39,9727	32,8637	891
Diyarbakır	17280	37,8973	40,2027	674
Lüleburgaz	D01A008	41°21'3"	27°21'6"	38



Şekil 2. İstasyon yerleşim planı

## Uygulama

Bu makalede kuraklık ve sulaklık üzerine değerlendirmede bulunmak için, hidrometeorolojik değişkenler içerisinde yağış ve akış verileri seçilmiştir. Lüleburgaz, Diyarbakır ve Ankara istasyonları için, Tablo 2’de düzenlenen verilerin belli yüzdeliklerine karşı gelen kesim seviyeleri referans alınarak, kuraklık ve sulaklık özelliklerinin saçılımları ve modelleri elde edilmiştir. Ayrıca verilerin bazı istatistik özellikleri aynı tabloda görülmektedir. Akım verilerinin kullanıldığı model sonucu elde edilen sulaklık ve kuraklığa ait grafikler Şekil 3 ve Şekil 8 arasında gösterilmiştir. Talep seviyesi ile ortalama fazla su miktarı ve ortalama eksik su miktarı arasındaki ilişki Şekil 4 ve Şekil 6’da kuvvet fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Eksik su miktarı modelinin verileri daha iyi yansıttığı görülmüştür. Talep seviyesi ile sulak süre ve kurak süre modeli Şekil 3 ve Şekil 5’te görüldüğü gibi dördüncü dereceden polinom olarak ifade edilmiştir. Şekil 7’de talep seviyesi ile ortalama eksik ve fazla su miktarı ilişkisi, Şekil 8’de ise talep seviyesine göre kurak ve sulak süre grafikleri birlikte verilmiştir.

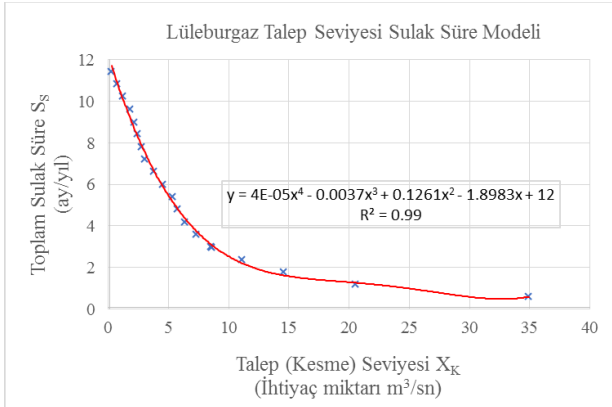
Tablo 2. Uygulama bölgeleri istatistikleri

Bölgeler	Lüleburgaz	Diyarbakır	Ankara
<b>Veri sayısı</b>	684	960	960
<b>Ortalama</b>	8.596	41.18	32.41
<b>Standart Hata</b>	0.485	1.36	0.81
<b>Ortanca Değeri</b>	4.51	29.00	27.70
<b>Mod</b>	0.28	0	0
<b>Standart Sapma</b>	12.68	42.24	25.20
<b>Varyans</b>	161	1784	634
<b>Çarpıklık</b>	3.27	0.99	0.94
<b>Basıklık</b>	12.77	0.30	0.54
<b>Veri aralığı</b>	99.93	210.30	122.40
<b>Minimum</b>	0	0	0
<b>Maksimum</b>	99.93	210.30	122.40
<b>Yüzde</b>	<b>Referans Kesme Seviyeleri (X<sub>K</sub>)</b>		
<b>5%</b>	0.29	0	1.80
<b>10%</b>	0.71	0.50	3.90
<b>15%</b>	1.21	1.07	6.20
<b>20%</b>	1.82	1.90	8.80
<b>25%</b>	2.18	3.22	12.43
<b>30%</b>	2.44	5.39	15.13
<b>35%</b>	2.77	8.60	18.40
<b>40%</b>	3.07	13.60	20.94
<b>45%</b>	3.80	21.85	24.40
<b>50%</b>	4.51	29.00	27.70
<b>55%</b>	5.34	36.20	30.90
<b>60%</b>	5.76	45.26	34.78
<b>65%</b>	6.35	52.63	38.07
<b>70%</b>	7.32	59.60	41.59
<b>75%</b>	8.51	67.50	47.30
<b>80%</b>	11.09	80.48	52.00
<b>85%</b>	14.56	88.97	59.67
<b>90%</b>	20.55	102.84	67.50
<b>95%</b>	34.93	123.20	82.29
<b>99%</b>	67.16	160.66	109.02

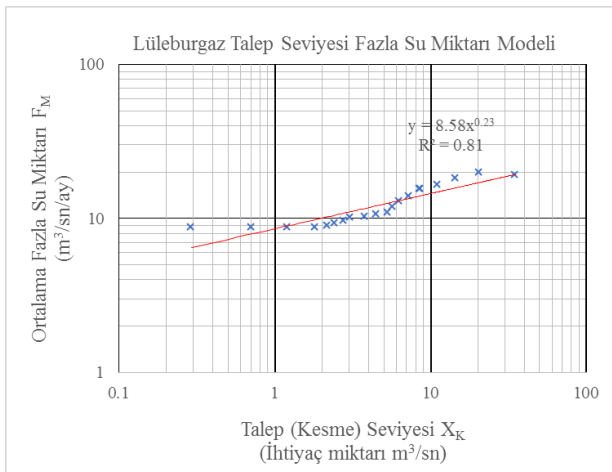
Bu örnek grafikler üzerinden belirlenen 10 m<sup>3</sup>/sn lik bir talep için, yılda ortalama 9.7 ay kuraklık süresi, 2.3 ay sulaklık süresi ortaya çıkmıştır. Bu talep için Şekil 7 yardımıyla, aylık ortalama eksik ve fazla su miktarları tespit



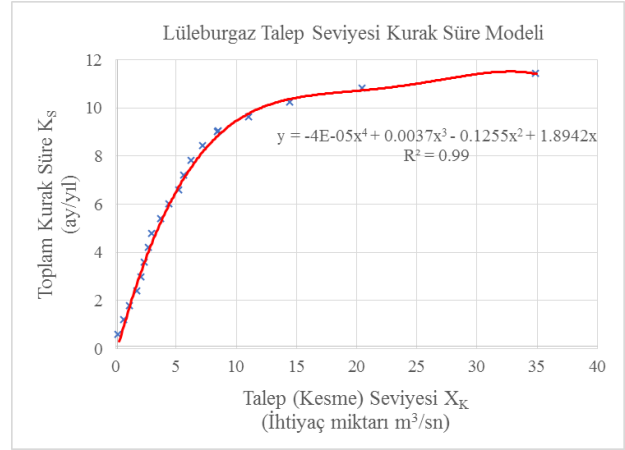
edilebilir. Modelde verilen tüm grafikler kullanılarak, talep seviyesine göre kurak dönem ve sulak dönem süreleri yıllık ortalama eksik ve fazla su miktarları ve tüm süreler boyunca denge durumu için gereken toplam miktarlar hesaplanabilir. Bu şekilde kuraklık ve sulaklık grafiklerinden faydalanarak bölgedeki talep seviyesine uygun planlama yapılabilir. Model grafiklerine ait  $R^2$  değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür.



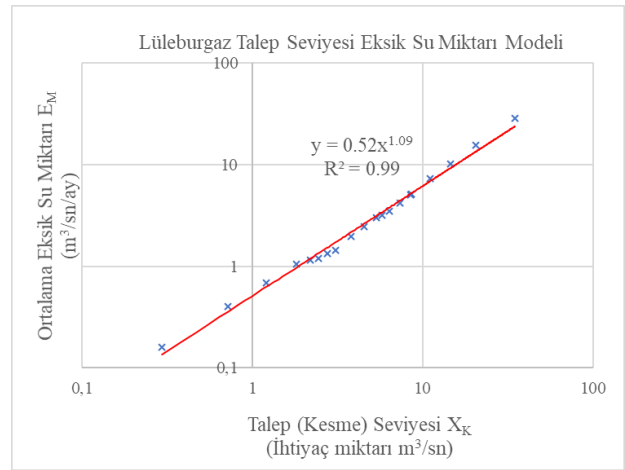
Şekil 3. Lüleburgaz talep seviyesi sulak süre modeli



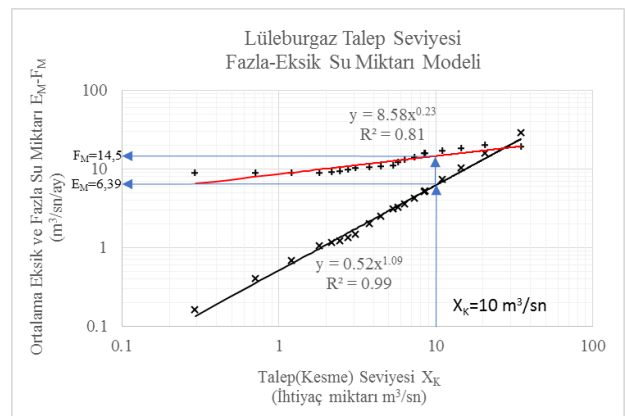
Şekil 4. Lüleburgaz talep seviyesi ortalama fazla su miktarı modeli



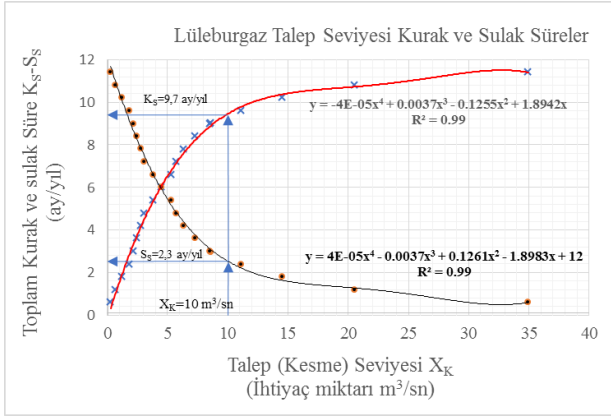
Şekil 5. Lüleburgaz talep seviyesi kurak süre modeli



Şekil 6. Lüleburgaz talep seviyesi ortalama eksik su miktarı modeli

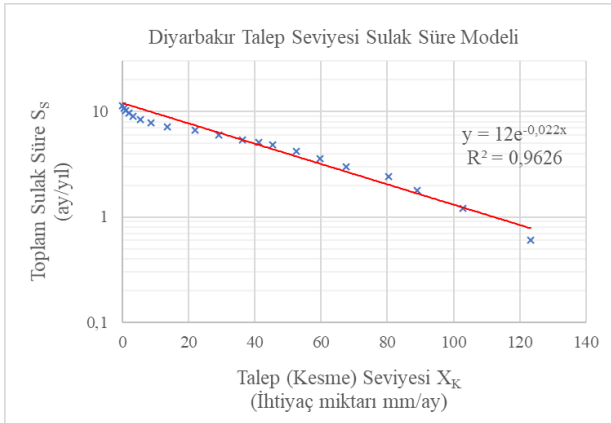


Şekil 7. Lüleburgaz talep seviyesi ortalama fazla ve eksik su miktarı modeli

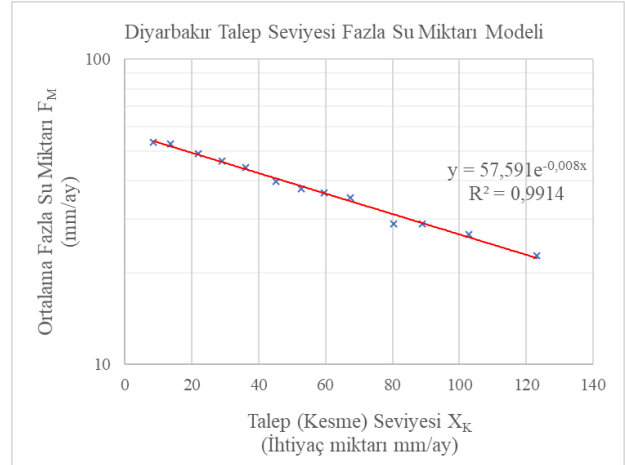


Şekil 8. Lüleburgaz talep seviyesi kurak ve sulak süre modeli

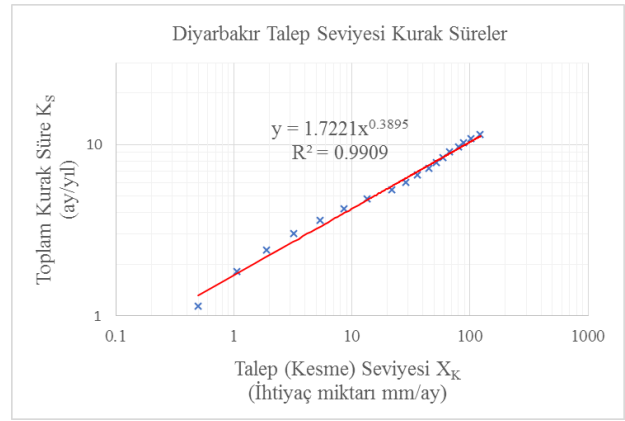
Diyarbakır model sonuç grafikleri Şekil 9 ile Şekil 12 arasında verilmiştir. Sulak süre modeli üssel fonksiyon ile ifade edilirken, kurak süreler kuvvet fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Kesme seviyelerine göre fazla olan ve eksik kalan su miktarları arasındaki en iyi ilişkiye regresyon yardımıyla karar verilmiştir (Şekil 10 ve 12). İhtiyaç miktarı arttıkça sulak sürelerin azaldığı ve kurak sürelerin buna karşı arttığı Şekil 9 ve 11’ den açıkça görülebilmektedir.



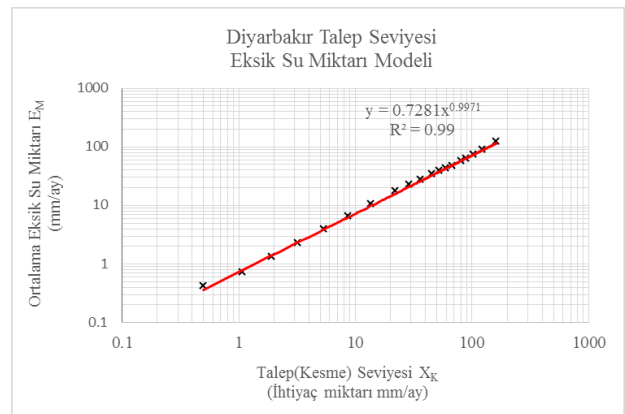
Şekil 9. Diyarbakır talep seviyesi sulak süre modeli



Şekil 10. Diyarbakır talep seviyesi ortalama fazla su miktarı modeli

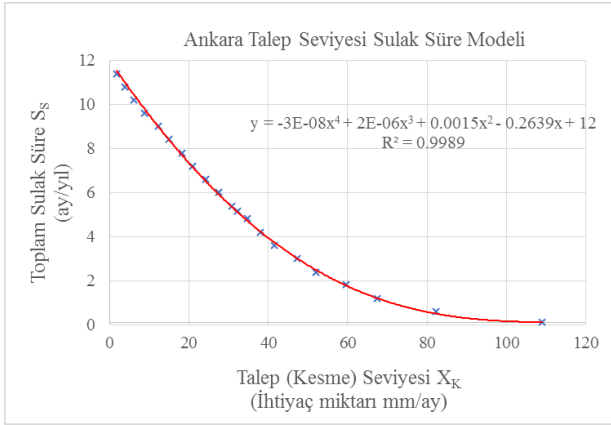


Şekil 11. Diyarbakır talep seviyesi kurak süre modeli

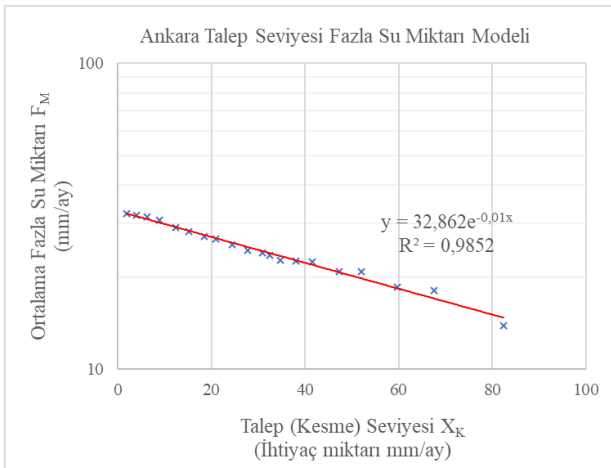


Şekil 12. Diyarbakır talep seviyesi ortalama eksik su miktarı modeli

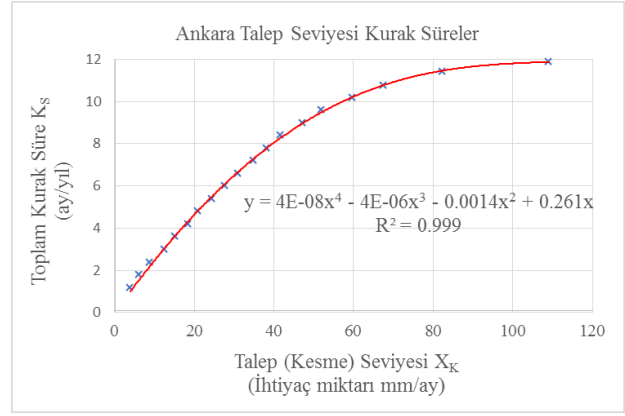
Ankara istasyonu içinde diğer iki istasyona benzer yorum ve değerlendirmelerde bulunulabilir. Talep seviyesine göre sulak süre ve kurak süre modelleri 4.dereceden polinom ile tanımlanmıştır. Ortalama eksik su miktarı kuvvet fonksiyonu ile fazla su miktarı ise üssel matematik eşitlikler ile ifade edilmiştir. Model sonucu  $R^2$  değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum model teorik eğrilerinin mekanik olarak verileri iyi temsil ettiğini göstermektedir.



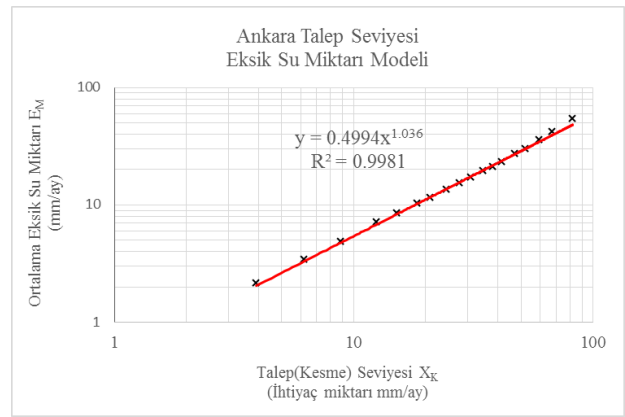
Şekil 13. Ankara talep seviyesi sulak süre modeli



Şekil 14. Ankara Talep seviyesi ortalama fazla su miktarı modeli



Şekil 15. Ankara Talep seviyesi kurak süre modeli



Şekil 16. Ankara Talep seviyesi ortalama eksik su miktarı modeli

## Sonuç ve Tartışma

Türkiye'nin de içinde bulunduğu birçok bölge iklim değişikliği ile kuraklık tehlikesi altında olup bu durum zamanla artan bir gidiş (trend) göstermektedir. Bu çalışma kuraklık analizlerinin çözümüne yönelik kullanılabilir aynı zamanda sulak durumda değerlendirmesini yapan yeni bir matematik model yaklaşımı sunmaktadır. Kuraklık ve sulaklık karakteristikleri ile talep arasındaki matematik ilişkiler toplanmış veriler yardımıyla yüksek açıklama bilirlirlikle ifade edilmiştir. Benzer modeller su kaynaklarının planlaması ve yönetimi için alternatif matematik fonksiyonlar denenerek de geliştirilmelidir.

## Kaynaklar

- Akbaş, A., (2013). Türkiye’de Palmer kuraklık indisine göre kuraklığın alansal ve zamansal değişiminin incelenmesi, *Yüksek lisans tezi*, Çanakkale On sekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- Atmaca, D., (2011). Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Konya ilinde bölgesel kuraklık analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.
- Beyazıt, M., ve Önöz, B., (2005). Probabilities and return periods of multisite droughts, *Hydrological Sciences Journal*, **50**, 4, 605-615.
- Kömüşçü, A, Ü., Erkan, A., ve Turgu, E., (2003). Normalleştirilmiş yağış indeksi (SPI) metodu ile Türkiye’ de kuraklık oluşum oranlarının bölgesel dağılımı, *III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, İstanbul.
- McKee, T, B., Doesken, N, J., Kleist, J., (1993). The relationship of drought frequency and duration of time scales, *Presented at the Eighth Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society.
- Palmer, W, C., (1965). Meteorological Drought. Weather Bureau Research Paper, No. 45, U.S. Department of Commerce, Washington. D.C.
- Rodríguez-Iturbe, I., (1969). Applications of the theory of runs to hydrology, *Water Resources Research*, **5**, 6, 1422-1426.
- Silkin, H., (2014). İklim Değişikliğine Uyum Özelinde Bazı Uygulamaların Türkiye Açısından Değerlendirilmesi, *Uzmanlık Tezi*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- Şen, Z., (1976). Wet and dry periods of annual flow series, *Journal of the Hydraulics Division*, **102**, 10, 1503-1514.
- Şen, Z., (1977). Run-Sums of Annual Flow Series, *Journal of Hydrology*, **35**, 311-324.
- Şen, Z., (1978). Autorun analysis of hydrologic time series, *Journal of Hydrology*, **36**, 75-85.
- Şen, Z., (1980). Regional drought and flood frequency analysis, *Journal of hydrology*, **46**, 3-4, 265-279.
- Şen, Z., (1989). The Theory of Runs With Applications to Drought Prediction-Comment, *Journal of Hydrology*, **110**, 383-391.
- Şen, Z., (1990). Critical drought analysis by second order Markov chain, *Journal of Hydrologic Engineering*, **120**, 183-202.
- Şen, Z., (1998). Probabilistic formulation of spatio-temporal drought Pattern, *Theor Apply Climatology*, **61**, 197-206.
- Tatlı, H., ve Türkeş, M., (2011). Empirical orthogonal function analysis of the Palmer Drought Indices, *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 981-991.
- Türkeş, M., Akgündüz, A, S., ve Demirörs, Z., (2009). Palmer Kuraklık İndisi’ ne göre İç Anadolu Bölgesi’nin Konya Bölümü’ndeki kurak dönemler ve kuraklık şiddeti, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7, 129-144.
- Yeğnidemir, M, K., (2005). İç Anadolu Bölgesinin standartlaştırılmış yağış indis metodu ile kuraklık analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Yevjevich, V., (1967). An Objective Approach to Definitions and Investigations of Continental Hydrologic Droughts, *Hydrology Papers*, 23.
- Yevjevich, V., (1975). Analytical Investigation of Drought of Stationary Time Series Using Negative Runs, *Hydrology Paper*, Colorado State University. Fort Collins. Colorado.
- Yevjevich, V., (1976). Area-Deficit-Intensity Characteristics Of Drought. *Hydrology Paper*, No:87, Colorado State University.

## Dry and wet period analysis by demand level

### Extended abstract

*In order to eliminate the problems of drought or to reduce their adverse impact, they are needed to be subjected to further research for better balance with least damage. If equilibrium cannot be ensured, then drought process starts with meteorological type leading to hydrological and then agricultural and social droughts. Due to increasing population and water use, drought events have increased in occurrence and severity indicating their importance. Researchers and experts work more efficiently for harvesting and storing more water for solution of drought deficit water.*

*In this research, some mathematical equations of significant importance for drought mitigation are derived. Furthermore, mathematical relations are also derived between drought (dry) and wet spell features based on a set of demand (threshold-cut) levels. It has been observed that the geometric relation between demand quantities, drought and wet periods, average total deficit and surplus amounts in the forms of exponential, polynomial and power functions.*

*Three stations are selected for model applications in this research study. The two precipitation stations are in Diyarbakır and Ankara. The stream gauging station is located in the Lüleburgaz. Mathematical relations between drought and wet characteristics are expressed with the help of equations which are theoretically developed with high clarity with the help of data.*

*At each truncation (threshold) level, the duration of drought and wet, in addition the average total deficit and the average total surplus values are determined. In order to examine the relation between the threshold level ( $X_K$ ) and each variable ( $S_K$ ,  $S_S$ ,  $E_O$ ,  $F_O$ ), the most appropriate functional forms determined by regression analysis within a confidence interval of 5%.*

*Based on the Lüleburgaz station data, mathematical expressions according to threshold level are expressed as power and polynomial function after applying regression method. Within the graphs, the mathematical expression of the function between the threshold level and drought duration model appears*

*as fourth degree polynomial equation type. The wet model for Diyarbakır is has also exponential function, but the law mathematical equaiton is valid for drought condition. It is possible to make similar comments for Ankara station according to the other two stations. In the application for the Ankara station,  $R^2$  values are more than 98%.*

*This work includes a new mathematical approach to analysis of drought that can be used also to solve wet spell analyzes. With the improving of the equations obtained in this research one can make estimations for future concerning dry and wet spell features.*

**Keywords:** Hydrology; Mathematical Modeling; Drought; Wet; Demand Level; Water Resources Planning



## Açılı yerleştirilmiş şerit ankrajların çekme davranışının sayısal olarak incelenmesi

**Selçuk BİLDİK\***

Nişantaşı Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

[selcuk.bildik@nisantasi.edu.tr](mailto:selcuk.bildik@nisantasi.edu.tr) ORCID: 0000-0002-6799-8616, Tel: (212) 210 10 10

Geliş: 25.09.2018, Kabul Tarihi: 16.11.2018

### Öz

*Bu çalışmada ankrajların farklı gömülme derinliklerinde ve farklı açılarda zemin içerisine gömülmesi durumunda çekme davranışı sayısal olarak incelenmiştir. Analizler sonlu elemanlar yöntemine dayalı Plaxis 2D 2017 programı ile yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizleri iki farklı kum sıklığında düzlem deformasyon koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde ankrajların gömülme derinliğinin artmasıyla çekme kapasitesi artmaktadır. Ayrıca her iki sıklıktaki kumda ankraj gömülme derinliğinin  $H/B=5$  olması durumunda derin temel koşullarının oluştuğu görülmektedir. Analizlerde ayrıca ankrajın  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $75^\circ$  derece açılarda eğimli olması durumu araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ankraj açısı arttıkça çekme kapasitesi artmaktadır.*

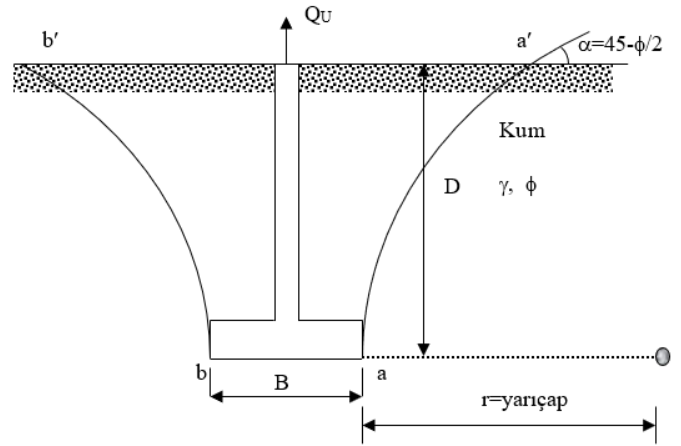
**Anahtar Kelimeler:** Sonlu elemanlar yöntemi; eğimli ankraj; çekme kapasitesi; kopma faktörü, ankraj kapasitesi oranı

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Mühendislik yapılarının temelleri genellikle üst yapıdan gelen yüklere bağlı olarak basınç gerilmelerine maruz kalmaktadırlar. Yapının etkileşim içinde olduğu temel zemininin taşıma gücü ve oturma açısından sorunlu olmaması durumunda basınç gerilmeleri altında temel zemini iyi bir performans göstermektedir. Ancak petrol arama tesisleri, iskeleler, asma köprüler, elektrik ve televizyon direkleri gibi yapılardan temel sistemlerine bazı durumlarda çekme yükleri aktarılmaktadır. Basınç karşısında oldukça iyi performans sağlayan temel sistemlerinin bu durumda çekme gerilmeleri de dikkate alınarak tasarlanması gerekmektedir. Bu gerilmelerin karşılanması amacıyla genellikle zemine gömülü temeller veya ankraj sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde çekme gerilmeleri zemine gömülü temel ya da ankraj ağırlığı ve gömülü yapı üzerinde yer alan zemin ağırlığı ile karşılanmaktadır. Zemine gömülü olan sistemlerin zeminden gelen kapasitesi çekme yükünün devreye girmesi esnasında zeminde oluşan yenilme yüzeyleri boyunca oluşan kayma gerilmesi de çekme kapasitesine katkı sağlamaktadır. Çekme anındaki yenilme yüzeylerinden gelen katkı zeminin kayma mukavemetinden doğrudan etkilenmektedir. Dolayısıyla çekme kapasitesi zeminin birim hacim ağırlığı ve kayma mukavemeti ile doğrudan ilişkilidir. Ayrıca ankraj plakasının yerleşim şekli ve düzeni de oluşacak yenilme yüzeyini, dolayısıyla ankraj plakasının çekme davranışını etkileyen önemli parametrelerdendir. Ankrajların bir zemin içerisine yatay olarak yerleştirilmesi durumundaki davranışı birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Ankraj plakalarının çekme davranışı üzerine ilk çalışmalar Balla (1961) tarafından yapılmıştır. Balla çalışmasında model ve arazi deneyleri ile temellerin çekme yükleri altında yenilme yüzeylerinin belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmasının sonucunda temel çekme yükleri altında oluşan yenilme yüzeyi ve etkileyen faktörler Şekil 1'de gösterilmektedir. Burada yenilme yüzeyinin zeminin içsel sürtünme açısı, dolayısıyla zeminin sıklık özellikleri ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür.

Meyerhof ve Adams (1968) yaptıkları çalışmada sığ bir temelin çekme davranışını inceleyerek, çekme kapasitesinin zeminin sıklığı ile içsel sürtünme açısına bağlı olduğu belirlenmiştir. Nihai yük altında zemindeki yenilme yüzeyinin yatayla yaptığı  $\alpha$  açısının büyüklüğünün  $90^\circ - (1/3)\phi$  ile  $90^\circ - (2/3)\phi$  arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Saeedy (1987) temellerin çekme yükleri altındaki davranışlarını boyutsuz parametreler kullanarak incelemiştir. Saeedy yaptığı araştırmada temel çekilmesi ile birlikte temel üstündeki zeminin zamanla sıkışmaya başladığını ve buna bağlı olarak zeminin kayma dayanımı ile çekme kapasitesinin arttığını ifade etmiştir.



Şekil 1. Balla (1961) Tarafından Önerilen Yenilme Yüzeyi (Das, 1999)

Dickin ve Leung (1990) santrifüj deneylerinde geniş tabanlı kazıkların kum içinde çekme yüküne maruz kalma durumunu incelemiş olup, kazık taban çapı ve kum sıklığının çekme kapasitesini değiştiren parametreler olduğunu belirlemişlerdir. Dickin ve Laman (2007) kohezyonsuz zeminlere oturan şerit ankrajların çekme davranışını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Zeminin kopma faktörünün ankrajın zemin içindeki konumu ve zeminin sıklığının artmasıyla arttığını belirlemişlerdir. Bildik (2010) yaptığı çalışmada farklı tiplerdeki ankrajların çekme kapasitesini deneysel olarak incelemiş, ankrajın zemin içindeki gömülme derinliğinin, zemin sıklığının ve ankraj geometrisinin çekme kapasitesini doğrudan etkileyen parametreler olduğunu belirlemiştir.

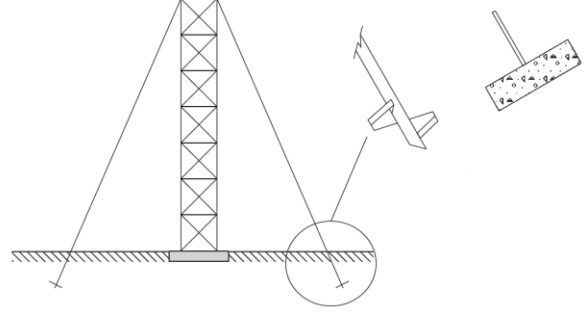
Düz bir zemin ortamına gömülü ankrajlarla ilgili birçok çalışma mevcutken ankrajların zemin içerisine eğimli olarak yerleştirilmesi durumu için sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Goel ve Patra (2006) limit denge yöntemi analizleri ile kum içindeki eğik ankrajların davranışını kopma faktörü cinsinden incelemişlerdir. Farklı zemin sıklılığı ve gömülme oranları için ankraj eğiminin artması ile birlikte çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Merifield (2009) ankrajların çekme yükleri altındaki davranışını sınır eleman yöntemi ile sayısal olarak incelemiştir. Merifield yaptığı çalışmada ankrajların farklı gömülme derinliği ve eğim açısında bulunması durumunda kapasitenin nasıl etkilendiğini belirlemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre ankraj gömülme oranı ve ankraj açısının artmasıyla birlikte çekme kapasitesinin arttığı görülmektedir. Hanna ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada kum içindeki şerit ankrajların kapasitesini deneysel ve analitik olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada kum zeminin dilatasyon açısının etkisi ile ankrajın rijitliği ve şekil faktörünün davranışa etkileri üzerinde durmuşlardır. Deneysel çalışmalar ile literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde ankraj açısı, zemin özellikleri ve geometrik koşulların davranışı önemli mertebede etkilendiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada şerit ankrajların farklı gömülme derinliklerinde ve farklı açılarda kum zemin içinde yer alması durumunda çekme kapasitesinin değişimi sayısal analizler yardımı ile incelenmiştir. Analizler iki farklı kum sıklılığı için yapılmış olup, Dickin ve Laman (2007) tarafından yapılan deneysel olarak belirlenen kum zemin parametreleri kullanılmıştır. Analizlerde sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz yapan Plaxis 2D 2017 paket programı kullanılmıştır.

## Problemin Tanımı ve Araştırılan Parametreler

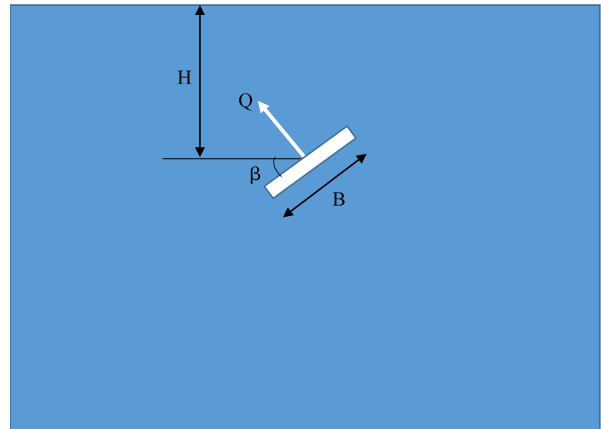
Ankraj sistemleri birçok yapıda çekme kuvvetlerine karşı kullanılmakta olup, deniz yapıları, enerji iletim kuleleri, yol üzerindeki reklam panoları gibi birçok yapıda temel sistemleri çekme yüklerine karşı tasarlanmaktadır. Bu sistemlerde çekme yüküne

maruz temellerin farklı eğim açıları ile yerleştirilmesi gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Özellikle asma köprüler, iletim hattı kuleleri yapıları eğimli ankrajların kullanıldığı sistemlerin başında gelmektedir (Şekil 2). Ankraj sistemlerinin kapasitesi, ankraj üzerindeki zemin yükü ile doğrudan ilişkili olduğundan ankrajın yerleşim şekli davranışı doğrudan etkileyen faktördür.



Şekil 2. Eğimli Ankrajların Kullanımı (Merifield, 2009)

Bu çalışmada eğimli ankrajların çekme kapasitesi sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada ankraj plakasının düz olarak yerleştirilmesi ile birlikte  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $75^\circ$  derece açılarla zemin içerisine yerleştirilmesi durumları da araştırılmıştır. Ayrıca ankrajın gömülme derinliğinin değişimi de analizlerde incelenmiştir. Bu çalışmada incelenen problem geometrisi Şekil 3'de sunulmaktadır. Çalışma kapsamında zemin sıklılığı, gömülme oranı  $H/B$  ve ankraj yerleşim açısı  $\beta$  değerleri incelenmiştir.



Şekil 3. Problem Geometrisi



## Sayısal Analizler

Ankrajların farklı gömülme derinliklerinde ve farklı açılarda zemin içerisine yerleştirilmesi durumunda çekme kapasitesi değişimleri sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal analizler iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemine dayalı Plaxis 2017 2D programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında gerçek boyutta bir model seçilmiş olup, 1 m genişliğinde şerit bir ankraj kullanılarak, iki boyutlu düzlem deformasyon durumunda analizler gerçekleştirilmiştir. Boyut etkisinin oluşmaması için yapılan ön analizler sonucunda ankraj genişliği 25B genişlik ve 10B derinlikte oluşturulup analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde Dickin ve Laman (2007) tarafından kullanılan zemin parametreleri kullanılmış olup, analizler, pekleşen zemin modeli olarak tanımlanan, Hardening Soil (HS model) modeli ile yapılmıştır. Analizlerde kullanılan zemin özellikleri Tablo 2’de sunulmaktadır.

**Tablo 2.** Analizlerde kullanılan HS model zemin parametreleri (Dickin ve Laman, 2007)

Parametre	Gevşek	Sıkı
Birim hacim ağırlık, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	14.50	16.40
$E_{50}$ (kN/m <sup>2</sup> )	5000	20000
$E_{ur}$ (kN/m <sup>2</sup> )	15000	60000
$E_{oed}$ (kN/m <sup>2</sup> )	5000	20000
İçsel sürtünme açısı, $\phi$ (°)	35	51
Kohezyon, $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	0.5	0.5
Dilatasyon açısı, $\psi$ (°)	5	21
Ref. basınç değeri, $P_{ref}$ , kN/m <sup>2</sup>	100	100
Zemin basınç katsayısı, $K_0$ (-)	0.43	0.23
Göçme oranı, $R_f$ , (-)	0.90	0.90

### Analiz Programı

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde iki farklı kum sıklılığı dikkate alınmış olup, her iki sıklılık için sekiz farklı gömülme derinliği ve altı farklı yerleşim açısı için toplam 96 analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz programı ve analizlerde dikkate alınan parametreler Tablo 3’de özetlenmektedir.

Analiz sonuçlarının gösterilmesinde boyutsuz bir parametre olan, kopma faktörü  $F_q$  (Breakout Factor) kullanılmıştır. Kopma faktörünü ifade eden bağıntı Denklem 1’de verilmektedir.

Eğik ankrajların kapasite değişiminin karşılaştırılması amacıyla bu çalışmada ankrajın açılı olması durumundaki çekme kapasitesinin, açısız olması durumundaki çekme kapasitesine bölünmesiyle elde edilen çekme kapasitesi oranı UCR (Uplift Capacity Ratio) boyutsuz parametre olarak tanımlanmış ve Denklem 2’de sunulmuştur.

$$F_q = \frac{Q_u}{\gamma \times A \times D_f} \quad (1)$$

Burada;

A : Temelin Alanı

$F_q$  : Kopma Faktörü (Breakout Factor)

$Q_u$  : Çekme Yüğü

$\gamma$  : Zeminin Birim Hacim Ağırlığı olarak tanımlanmaktadır.

$$UCR = \frac{Q_{açılı}}{Q_{açısız}} \quad (2)$$

Burada;

UCR : Çekme Kapasitesi Oranı (Uplift Capacity Ratio)

$Q_{açılı}$  : Açılı Durumdaki Ankrajın Çekme Kapasitesi

$Q_{açısız}$  : Açısız Durumdaki Ankrajın Çekme Kapasitesidir.

**Tablo 3.** Analiz programı

Kum Sıklılığı	Gömülme Oranı (H/B)	Yerleşim Açısı ( $\beta$ )
Gevşek	H/B=1~8	$\beta=0, 15, 30, 45, 60, 75$
Sıkı	H/B=1~8	$\beta=0, 15, 30, 45, 60, 75$

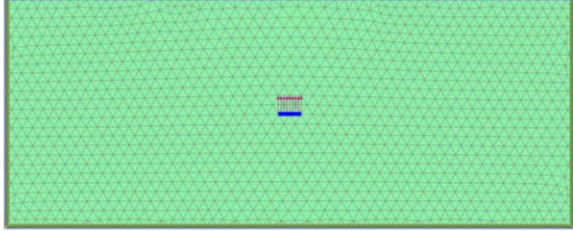
### Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında zemin sıklılığı, gömülme oranı H/B ve ankraj yerleşim açısı  $\beta$  değerleri incelenmiştir.

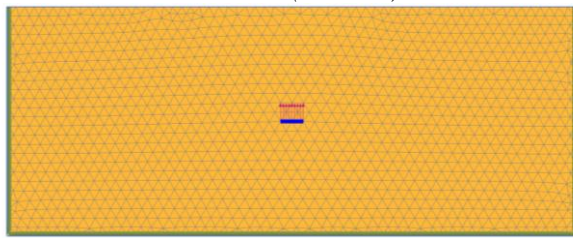
### Gömülme Derinliğinin Çekme Kapasitesine Etkisi

Yapılan sayısal analizlerde gömülme derinliğinin ankrajların çekme kapasitesine etkisini belirlemek amacıyla altı farklı ankraj açısı için sekiz farklı gömülme derinliğinde analizler yapılmıştır. Analizler iki farklı zemin sıklılığı için yapılmış olup sonuçlar kopma faktörü  $F_q$  ve ankraj çekme kapasitesi oranı UCR cinsinden karşılaştırılmıştır. Gevşek kum zemin için sonlu elemanlar modeli Şekil 4’de, sıkı kum zemin için sonlu elemanlar modeli ise Şekil 5’de

sunulmaktadır. Analizler deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiş olup, ankraj genişliğinin %10'u kadar deformasyon yapması durumundaki çekme kapasitesi değerleri dikkate alınmıştır.



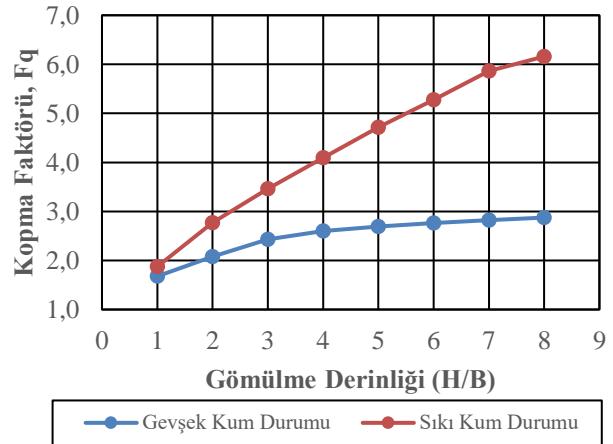
Şekil 4. Gevşek kum zemin için sonlu elemanlar modeli (H/B=5)



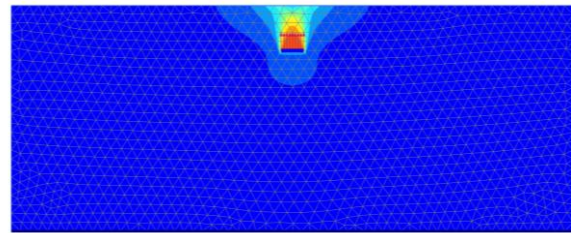
Şekil 5. Sıkı kum zemin için sonlu elemanlar modeli (H/B=5)

Yapılan sonlu elemanlar analizleri sonucunda gömülme derinliğinin artışı ile birlikte ankraj çekme kapasitesinin dolayısıyla kopma faktörünün arttığı görülmüştür. Gevşek ve sıkı kum zemin için gömülme derinliği ile kopma faktörü arasındaki ilişki Şekil 6'da toplu olarak gösterilmektedir. Gevşek kum zemin koşullarındaki sonuçlar incelendiğinde kopma faktörü değerinin H/B=5 gömülme derinliğine kadar arttığı ve daha sonra yatayla asimptota yaklaştığı görülmektedir. Bu durum H/B=5 gömülme derinliğinden sonra derin temel koşullarının oluştuğunu göstermektedir. Deformasyonlar H/B=8 durumunda tamamen zemin içinde oluşmaktadır (Şekil 7). Sıkı kum zemin koşullarında ise kopma faktörü gömülme derinliği ile doğrusal olarak artış göstermektedir. Gömülme derinliği arttıkça çekme kapasitesi dolayısıyla kopma faktörü artmaktadır. Sıkı zemin koşullarında genel göçme mekanizması oluşmakta olup, H/B=5 gömülme derinliğinde deformasyonlar yüzeye yansımaktadır (Şekil 8). Sonuçlar değerlendirildiğinde, gevşek zemin koşullarında ankrajın H/B=1 gömülme derinliğinden H/B=8 derinliğine yerleştirilmesi durumunda kapasite 2 kata kadar artış göstermektedir. Bu artış sıkı zemin koşullarında

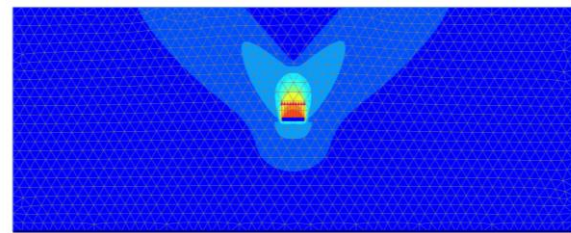
3 kata kadar çıkmaktadır. Elde edilen sonuçlar, ankraj plakalarının çekme kapasitesi ile çekme yükü altında göçme mekanizmalarının ankrajın gömülme derinliği ve zemin sıklılığı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Ankrajın H/B=5 ve daha derine yerleştirilmesi durumunda yenilme yüzeyinin zemin içinde kaldığı ve derin temel koşullarının geçerli olduğu anlaşılmaktadır.



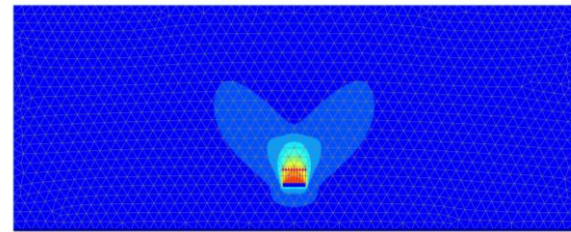
Şekil 6. Gevşek ve sıkı kum zemin için kopma faktörü – gömülme derinliği değişimi



a) H/B=2

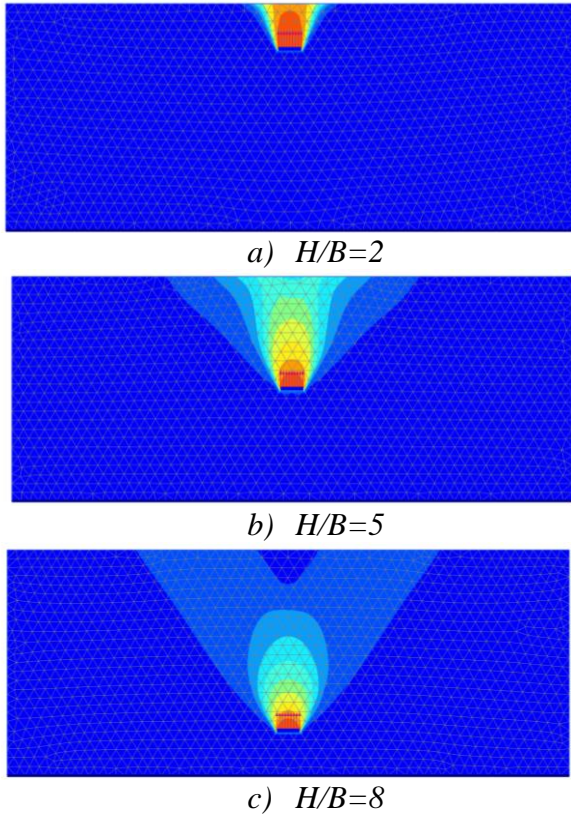


b) H/B=5



c) H/B=8

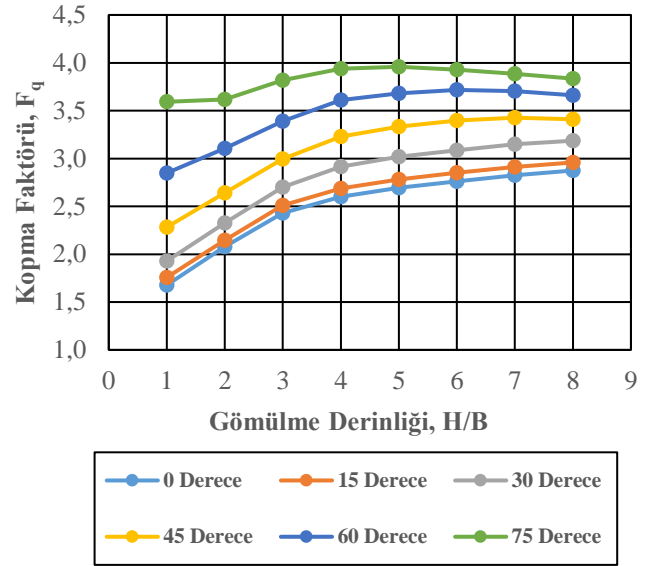
Şekil 7. Gevşek kum zemin için ankrajların göçme mekanizmaları



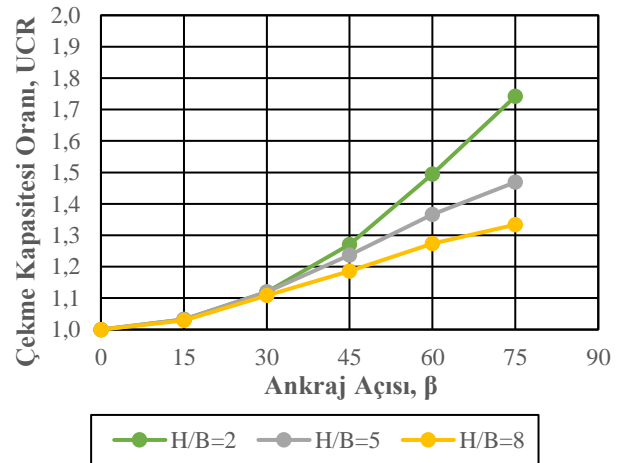
Şekil 8. Sıkı kum zemin için ankrajların göçme mekanizmaları

### Ankraj Yerleşim Açısının Çekme Kapasitesine Etkisi

Çalışma kapsamında ankrajların yerleşim açısının çekme kapasitesi davranışına etkisi incelenmiştir. Gevşek ve sıkı kum zeminler için sonlu elemanlar yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir. Gevşek kum zemin için yapılan analizlere ait sonuçlar Şekil 9'da sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde gömülme derinliğinin yanı sıra ankraj açısının artmasıyla birlikte çekme kapasitesi artmaktadır. Gömülme derinliği dikkate alındığında ankrajın daha yüzeysel derinliklerde eğimli olarak yerleştirilmesi durumunda daha yüksek performans elde edilmektedir. Üç farklı gömülme derinliği için ankraj açısının çekme kapasitesi oranına etkisi Şekil 10'da sunulmaktadır. Ankraj açısının  $75^\circ$  olması durumunda  $H/B=8$  gömülme derinliğinde ankraj kapasitesi yaklaşık 1.3 kata çıkarken bu değer  $H/B=2$  gömülme derinliği için yaklaşık 1.8 kat mertebesindedir.



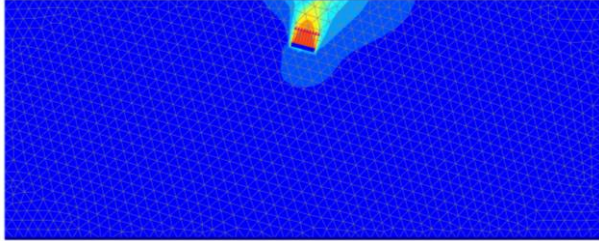
Şekil 9. Gevşek kum zeminde farklı açılarda kopma faktörü-gömülme derinliği değişimi



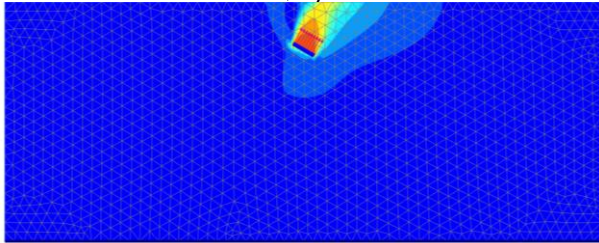
Şekil 10. Gevşek kum zeminde farklı gömülme derinliğinde ve yerleşim açılarında çekme kapasitesi oranı değişimi

Sonlu elemanlar analizlerinde gevşek kum zemin için  $H/B=2$  ve  $H/B=5$  gömülme derinlikleri için deplasman konturları Şekil 11 ve Şekil 12'de sunulmaktadır. Deplasman konturları incelendiğinde ankrajın eğimli yerleştirilmesi durumunda ankraj üzerinde yüzeyle yakın bölgede pasif bölgeler oluştuğu ancak yenilme yüzeyinin gömülme derinliği ile birlikte arttığı görülmektedir.  $H/B=2$  durumuna ait deplasman konturlarından ankrajın eğik yerleştirilmesi durumunda yüzeysel temel koşullarının sağlandığı anlaşılmaktadır. Şekil 12'de  $H/B=5$  durumuna ait deplasman konturları

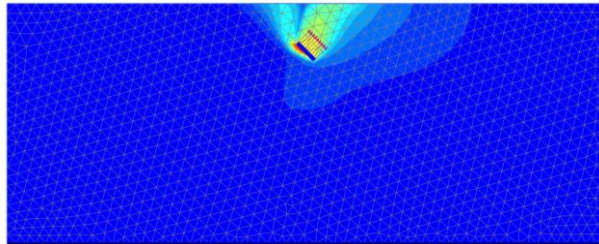
incelendiğinde deplasmanın genel olarak zemin içinde kaldığı ve derin temel koşullarının oluştuğu anlaşılmaktadır.  $H/B=2$  ve  $H/B=5$  gömülme derinliği durumları için ankraj açısının artmasıyla birlikte yatay yöndeki deformasyonların davranışta belirleyici olduğu anlaşılmaktadır.



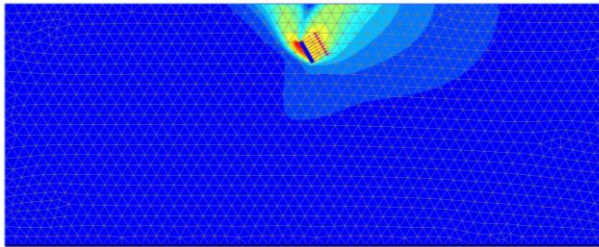
a)  $\beta=15^\circ$



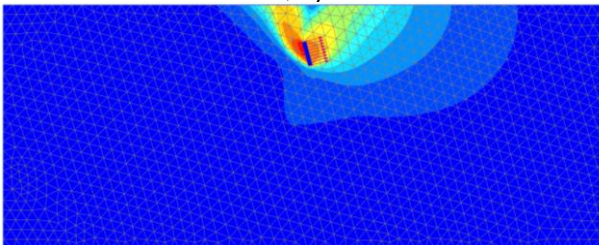
b)  $\beta=30^\circ$



c)  $\beta=45^\circ$

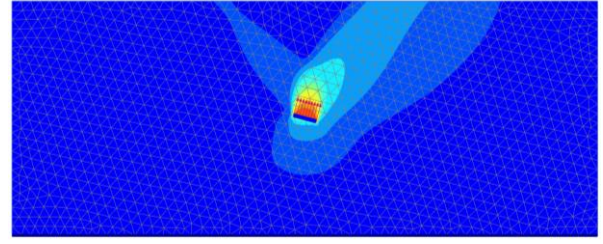


d)  $\beta=60^\circ$

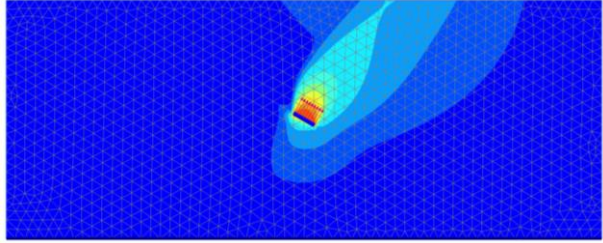


e)  $\beta=75^\circ$

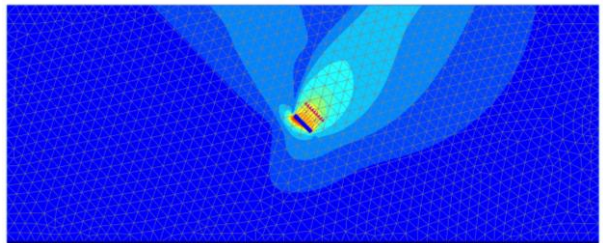
Şekil 11. Gevşek kum zeminde  $H/B=2$  gömülme derinliğinde yerleşim açısına bağlı olarak yenilme yüzeyleri



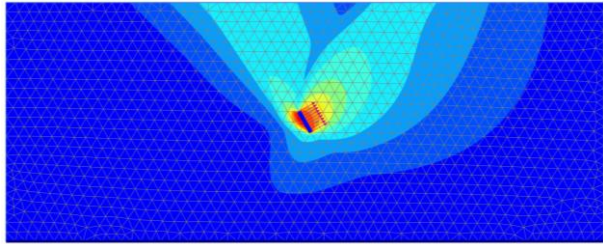
a)  $\beta=15^\circ$



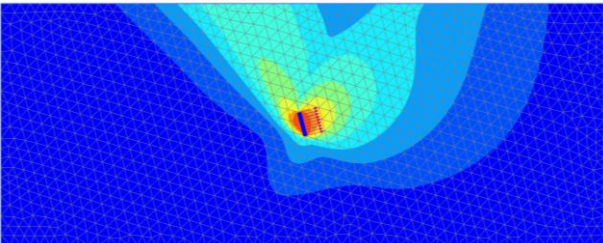
b)  $\beta=30^\circ$



c)  $\beta=45^\circ$



d)  $\beta=60^\circ$



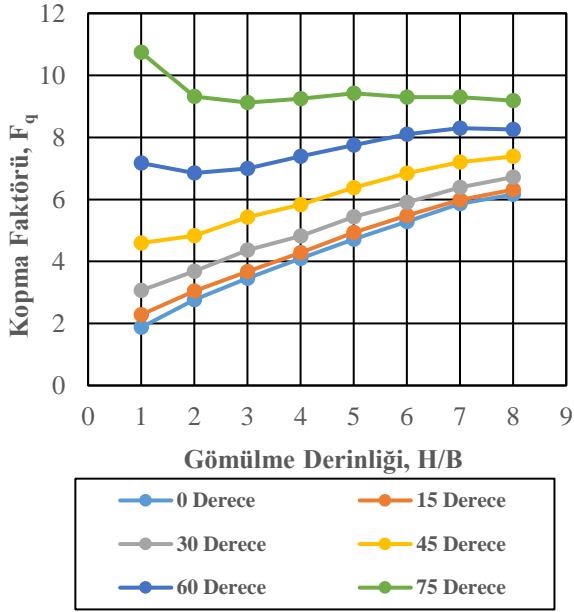
e)  $\beta=75^\circ$

Şekil 12. Gevşek kum zeminde  $H/B=5$  gömülme derinliğinde yerleşim açısına bağlı olarak yenilme yüzeyleri

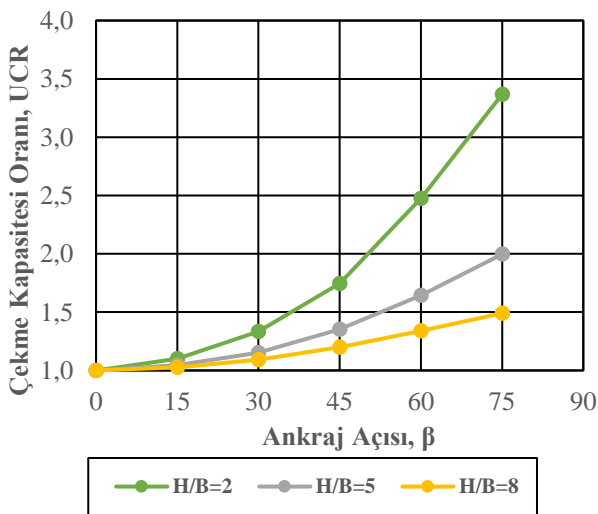
Sıkı kum zemin için yapılan analiz sonuçları Şekil 13'de sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde gevşek kumda elde edilen sonuçlara benzer olarak gömülme derinliğinin yanı sıra ankraj açısının artmasıyla birlikte çekme kapasitesi artmaktadır. Gömülme

derinliği dikkate alındığında ankrajın daha yüzeysel derinliklerde eğimli olarak yerleştirilmesi durumunda daha yüksek performans elde edilmektedir. Üç farklı gömülme derinliği için ankraj açısının çekme kapasitesi oranına etkisi Şekil 14'de sunulmaktadır. Ankraj açısının  $75^\circ$  olması durumunda  $H/B=8$  gömülme derinliğinde ankraj kapasitesi 1.5 kata çıkarken bu değer  $H/B=2$  gömülme derinliği için yaklaşık 3.5 kat mertebesindedir.

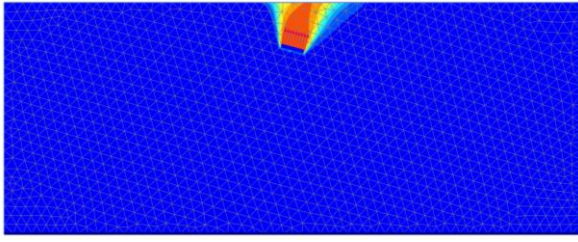
Sonlu elemanlar analizlerinde gevşek kum zemin için  $H/B=2$  ve  $H/B=5$  gömülme derinlikleri için deplasman konturları Şekil 15 ve Şekil 16'da sunulmaktadır. Şekil 15'de  $H/B=2$  durumu için deplasman konturları incelendiğinde gevşek kum zemindeki davranıştan farklı olarak ankrajın eğimli yerleştirilmesi durumunda ankraj üzerinde yüzeye yakın bölgede pasif bölgeler oluşmamaktadır.  $H/B=2$  durumuna ait deplasman konturlarından ankrajın eğik yerleştirilmesi durumunda yüzeysel temel koşullarının sağlandığı anlaşılmaktadır. Ancak göçme yüzeyi incelendiğinde gevşek duruma göre göçme yüzeyi açısı daha dar oluşmaktadır. Şekil 16'da  $H/B=5$  durumuna ait deplasman konturları incelendiğinde deplasmanın genel olarak zemin içinde kaldığı ve derin temel koşullarının oluştuğu anlaşılmaktadır.  $H/B=2$  ve  $H/B=5$  gömülme derinliği durumları için ankraj açısının artmasıyla birlikte yatay yöndeki deformasyonların davranışta belirleyici olduğu anlaşılmaktadır.



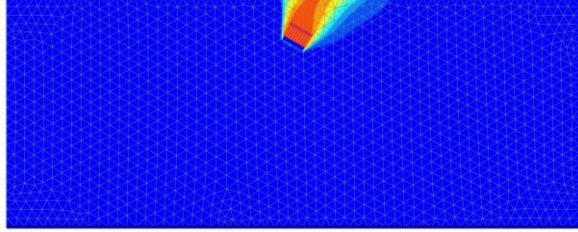
Şekil 13. Sıkı kum zeminde farklı açılarda kopma faktörü-gömülme derinliği değişimi



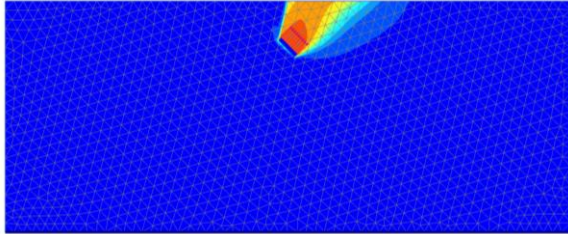
Şekil 14. Sıkı kum zeminde farklı gömülme derinliğinde ve yerleşim açılarında çekme kapasitesi oranı değişimi



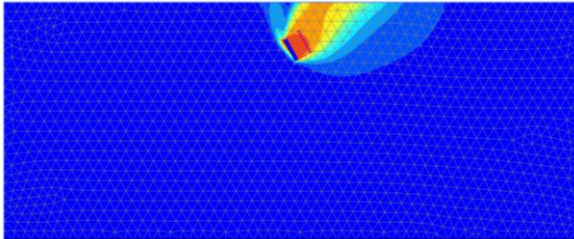
a)  $\beta=15^\circ$



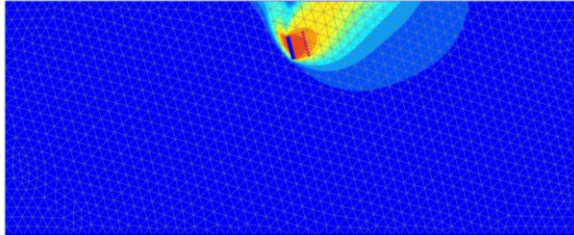
b)  $\beta=30^\circ$



c)  $\beta=45^\circ$

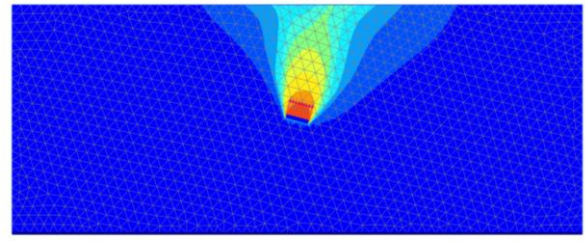


d)  $\beta=60^\circ$

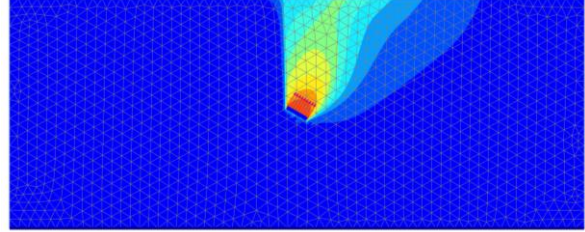


e)  $\beta=75^\circ$

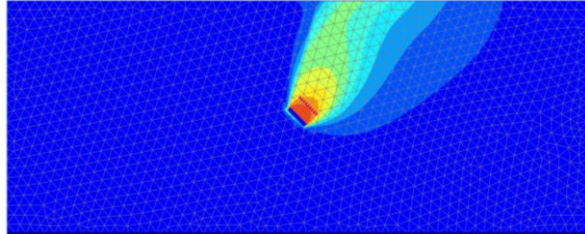
Şekil 15. Sıkı kum zeminde  $H/B=2$  gömülme derinliğinde yerleşim açısına bağlı olarak yenilme yüzeyleri



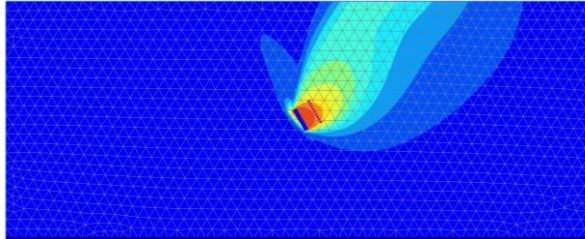
a)  $\beta=15^\circ$



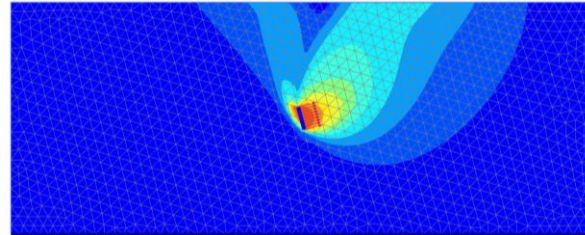
b)  $\beta=30^\circ$



c)  $\beta=45^\circ$



d)  $\beta=60^\circ$



e)  $\beta=75^\circ$

Şekil 16. Sıkı kum zeminde  $H/B=5$  gömülme derinliğinde yerleşim açısına bağlı olarak yenilme yüzeyleri

## Sonuçlar

Bu çalışmada ankrajların farklı gömülme derinliklerinde ve farklı açılarda zemin içerisine gömülmesi durumunda çekme davranışı sayısal olarak incelenmiştir. Analizler kum zemin koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemine dayalı Plaxis 2017 2D programı kullanılmış olup, 1 m genişliğinde şerit bir ankraj, iki boyutlu düzlem deformasyon durumunda analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

1. Gevşek ve sıkı kum zemin durumu için gömülme derinliğinin çekme davranışına etkisi incelenmiştir. Analizlerde elden edilen sonuçlar boyutsuz parametre olan kopma faktörü kullanılarak karşılaştırılmıştır. Gevşek zemin koşullarında ankrajın H/B=1 gömülme derinliğinden H/B=8 gömülme derinliğine yerleştirilmesi durumunda çekme kapasitesi 2 kata kadar artış göstermektedir. Bu artış sıkı zemin koşullarında 3 kata kadar çıkmaktadır.
2. Gevşek kum zemin koşullarında kopma faktörü değerinin H/B=5 gömülme derinliğine kadar arttığı ve daha sonra yatayla asimptota yaklaştığı görülmektedir. Bu durum H/B=5 gömülme derinliğinden sonra derin temel koşullarının oluştuğunu göstermektedir.
3. Elde edilen sonuçlar, ankraj plakalarının çekme kapasitesi ile çekme yükü altında göçme mekanizmalarının ankrajın gömülme derinliği ve zemin sıklığı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.
4. Gevşek ve sıkı kum koşullarında ankraj açısının artmasıyla birlikte çekme kapasitesi artmaktadır. Gömülme derinliği dikkate alındığında ankrajın daha yüzeysel derinliklerde eğimli olarak yerleştirilmesi durumunda çekme kapasitesi açısından daha yüksek performans elde edilmektedir.

5. Gevşek zemin koşullarında ankraj açısının 75° olması durumunda H/B=8 gömülme derinliğinde ankraj kapasitesi yaklaşık 1.3 kata çıkarken bu değer H/B=2 gömülme derinliği için yaklaşık 1.8 kat mertebesindedir. Sıkı zemin koşullarında ise H/B=8 gömülme derinliğinde ankraj kapasitesi 1.5 kata çıkarken bu değer H/B=2 gömülme derinliği için yaklaşık 3.5 kat mertebesindedir.

## Kaynaklar

- Balla, A., 1961. The Resistance to Breaking out of Mushroom Foundations for Pylons in Proc., V Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Paris, France, 1, 569.
- Bildik, S. (2010). Temel mühendisliğinde çekme dayanımının irdelenmesi ve farklı tiplerdeki temellerin çekme dayanımının analizi, *Yüksek Lisans tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Dickin, E. A. and Leung, C. F., 1990. Performance of Piles with Enlarged Bases Subject to Uplift Forces, *Canadian Geot. J.*, Vol. 27, pp. 546-556.
- Dickin, E.A., Laman, M. (2007). Uplift response of strip anchors in cohesionless soil. *Advances in Engineering Software*. 38, 618-625.
- Goel, S. & Patra, N. R. (2006). Break out resistance of inclined anchors in sand. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24: 1511-1525.
- Hanna, A., Foriero, A. & Ayadat, T. (2015). Pullout capacity of inclined shallow single anchor plate in sand. *Indian Geotechnical Journal*, 45(1): 110-120.
- Merifield, R.S. (2009). Uplift capacity of inclined plate ground anchors in soil. *Linear and Non-linear Numerical Analysis of Foundations*; Spon Press, Page: 85-130.
- Meyerhof, G.G. and Adams, J.I. (1968). The ultimate uplift capacity of foundations, *Canadian Geotechnical Journal*, 5(4), 225-244.
- Plaxis 2D 2017, Delft University of Technology & Plaxis bv, The Netherlands.
- Saeedy, H.S., 1987. Stability of Circular Vertical Earth Anhors, *Canadian Geotech. J.*, 24 (3), 452.

## Numerical investigation of uplift capacity of inclined strip anchor plates

### Extended abstract

The foundations of engineering structures are usually subjected to pressure stresses due to loads from the superstructure. If the foundation soil where the structure interacts is not problematic in terms of bearing capacity and settlement, the foundation soil performs well under the pressure stresses. However, many structures such as, towers, marine structures, tension cables for suspension bridges and tent-type roofs, are subjected uplift forces from their foundations due to the superstructure loads. Foundation systems that provide good performance against pressure forces should be designed by taking into account the uplift forces in this case. In general, the foundations or anchorage systems are used against the uplift forces. The uplift forces are covered by the foundation or anchor weight embedded in the soil and the soil weight on the anchor. In addition, shear stresses along the slip surfaces also contribute to the uplift capacity. Therefore, the shear strength properties of the soil directly affect the uplift capacity. The shape and arrangement type of the anchor plate are important parameters that affect the slip surface and thus the uplift behavior of the anchor plate. The behavior of anchors in the case of horizontal placement in soil has been investigated by many researchers. The first study on the uplift behavior of anchor plates was made by Balla (1961). Balla worked on model and field experiments for determination of the slip surfaces under the uplift load of the foundations. It was seen that the slip surface was directly related to the shear strength of the soil and hence the density properties of the soil. Meyerhof and Adams (1968) investigated the uplift behavior of a shallow foundation in their study. In the study, it was determined that the uplift capacity depends on the density of the soil and internal friction angle. Dickin and Leung (1990) investigated the uplift behavior of the wide-based piles in the sand with centrifugal experiments and determined that the pile base diameter and the sand density were the main parameters that affected the uplift capacity. Dickin and Laman (2007) studied the uplift behavior of strip anchors embedded on cohesionless soil experimentally and numerically. They determined that the breakout factor increases with the position of the anchor in the soil and the density of the soil. Bildik (2010) investigated the uplift capacity of different types of anchors experimentally. The

parameters which the embedment depth of the anchor, the soil density and the anchor geometry were found to be affecting uplift capacity of anchors. A limited number of studies have been carried out for the inclined placement of anchors in the soil, while there are many studies on horizontal placement of anchors. Goel and Patra (2006) investigated the behavior of the inclined anchors in the sand with the limit equilibrium analysis. It has been observed that the uplift capacity increases with the increase of the slope of anchor for different soil densities and embedment ratio. Merifield (2009) studied the behavior of anchors under uplift loads with the boundary element method. Merifield determined that how the uplift capacity is affected if the anchors have different embedment ratios and inclination angles. According to the results obtained, it is seen that the uplift capacity increased with the increase in the slope of anchor and the embedment ratio of anchor. Hanna et al. (2015) investigated the capacity of strip anchors in the sand experimentally and analytically. In their study, they emphasized the effect of the sand dilation angle, the stiffness of the anchor and the effect of the shape factor on the behavior. When the studies in the literature were estimated, it was determined that the slope of anchor, soil properties and geometric conditions affect the uplift behavior of anchor significantly. In this study, the behavior of uplift capacity of the strip anchors in different embedment ratios and different anchor slopes is investigated with numerical analysis. The analyzes were performed with the Plaxis 2D 2017 program based on the finite element method. Finite element analyzes were carried out under plane deformation conditions in two different sand densities. When the results of the analysis are evaluated, it can be concluded that the uplift capacity of the anchors increases with increasing embedment ratio of anchors. In addition, it is observed that deep foundation conditions are formed in the case of anchor embedment ratio  $H/B = 5$  in the loose and dense sand conditions. The analysis also investigated the inclination of the anchor at  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  and  $75^\circ$  degree angles. When the obtained results are evaluated, the uplift capacity increases as the slope of anchor increases.

**Keywords:** finite element method; inclined anchors; uplift capacity; breaking factor, anchor capacity ratio.





# Keskin Bir Cisim ile Temas Sonucu Yaralanma Kazalarının Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Yapay Sinir Ağları ile Analizi

**Bilal Umud AYHAN**

*Ortadoğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü-Yüksek Lisans Öğrencisi, Ankara*

[ayhan.umut@metu.edu.tr](mailto:ayhan.umut@metu.edu.tr)

*Harran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü-Araştırma Görevlisi, Şanlıurfa*

[ayhan.umut@harran.edu.tr](mailto:ayhan.umut@harran.edu.tr)

**Onur Behzat TOKDEMİR\***

*Ortadoğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara*

[tokdemir@metu.edu.tr](mailto:tokdemir@metu.edu.tr) ORCID: 0000-0002-4101-8560

Geliş: 02.10.2018, Kabul Tarihi: 06.11.2018

## Öz

*İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG), gelişen güvenlik sistemlerine rağmen, inşaat sektörü için hala büyük bir sorun teşkil etmektedir. Sağlık problemlerinin yanı sıra, proje bütçesini etkileyecek ciddi masraflara da neden olmaktadır. Bu problemlerin başlıca nedeni ise, inşaat sektöründe insana dayalı iş gücü fazla olduğundan, kazalar ve kaza etken unsurları arasındaki ilişkileri kurmanın oldukça zor olmasıdır. Bu çalışmada, farklı şantiyelerden anonim olarak toplanan “Keskin bir Cisim ile Temas Sonucu Yaralanma” olayları kullanılarak, kaza etken unsurları incelenmiş olup, kaza tahmin modeli oluşturulması amaçlanmıştır. Kaza sonuçları, tehlike seviyelerine göre üç farklı gruba ayrılmıştır; (1) Derece-1, “Ucuz-Atlatma”, “Ramak-Kala”, (2) Derece-2 “İlk-Yardımlı-Kaza”, “Kısıtlı-İş-Görmezlik”, (3) Derece-3, “Tıbbi-Müdahaleli-Kaza”, “Kayıp-İş-Günlü-Kaza”, “Ölümlü-Kaza”. Kaza verileri, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile çalışılmış ve kaza değişkenlerinin, bu kaza türündeki etkileri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu etkiler ile, Yapay Sinir Ağları (YSA) tahmin modeli oluşturulmuştur. 829 farklı kaza verisi bu çalışmada kullanılmış ve kazaların 720’si kurulan tahmin modelinin, öğrenme sürecinde kullanılırken, 109 adeti modelin güvenilirliğini kontrol etmek için ayrılmıştır. YSA modeli kurulum aşamasında, 10 farklı tahmin modeli kurulmuş ve bu modellerin R-kare ve Ortalama Hata Kareleri (OHK) kontrol edilmiştir. Daha sonra, modeller, rastgele seçilen 109 olay için teste tabii tutulmuştur. En iyi sonucu veren model %78 doğrulukla kaza tehlikelerini tahmin etmeyi başarmıştır. Sonuç olarak, sunulan bu çalışma ile incelenen kaza tipi için, inşa aşamasında karşılaşılabilecek riskli durumların önceden gösterilmesi ve kazaya neden olan etkenlerin sunulması hedeflenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Sinir Ağları (YSA), Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG)

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.466493

## Giriş

Günümüzde, İş Sağlığı ve Güvenliği ile ilgili yapılan çalışmalara ve bu çalışmalar sonucunda ortaya konan gelişmelere rağmen, inşaat sektörü, iş kazaları açısından yüksek potansiyele sahiptir. Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (2016) yayınladığı verilere göre, inşaat sektöründeki iş gücü kaybı ve ölümlerle sonuçlanan kazaların görülme sıklığı, diğer sektörlerle nazaran ortalama üç kat daha fazladır. Örneğin Amerika Birleşik Devletlerinde ölümlerle sonuçlanan kazaların yaklaşık %20'si inşaat sektöründe gerçekleşmektedir (Amerika Birleşik Devletleri Çalışma Bakanlığı-İş Gücü İstatistik Bürosu, 2016). Benzer şekilde Birleşik Krallık'ta, inşaat sektöründeki işgücü oranı diğer sektörlerin %5'ine denk gelmesine rağmen, ölümcül kazaların %31'den fazlası tekrar bu sektörde boy göstermektedir (Health and Safety Executive, 2014).

Avrupa ülkelerinde 2015 yılındaki ortalama ölümlü kaza görülme sıklığı her 100,000 insanda 1.83 olarak hesaplanmıştır. Bu oran Romanya'da 5.6 iken, Hollanda'da 0.5 olarak belirlenmiştir (Eurostat, 2018). Türkiye'de ise, yaşanan ölümlü kaza oranları Avrupa ülkelerine göre daha yüksektir. Uluslararası Çalışma Örgütü'nün yayınladığı verilere göre, 2016 yılında Türkiye'de, ölümlü olmayan kaza görülme sıklığı 100,000 işçi için 1530 iken ölümlerle sonuçlananların oranı ise 7.5'dir (Uluslararası Çalışma Örgütü, 2018). Ayrıca, Zhang vd., (2013) yaptıkları çalışmada, 20 yılda 26,000'den fazla insanın iş kazası sonucu hayatını kaybettiği belirtmiştir. Diğer bir deyişle, her gün ortalama 5 insan, uygun olmayan koşullar ve alınmayan İSG önlemlerinden dolayı yaşamını yitirmektedir. 2015 yılında Amerika'da 985 ölümlü kaza gözlemlenirken, bu oran 2016 yılında 1034'de çıkmış ve 200,000'in üstünde ölümlerle sonuçlanmayan kaza gözlenmiştir (Amerika Birleşik Devletleri Çalışma Bakanlığı-İş Gücü İstatistik Bürosu, 2016). Verilen istatistikler, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin hala efektif ve yenilikçi iş güvenliği sistemlerine ciddi bir şekilde ihtiyaç duyduklarını göstermektedir.

İnşaat sektöründe yaşanan kazaların başlıca konu edildiği çalışmalar, uzun zamandır araştırmacılar tarafından çalışılmakta ve bu çalışmalarla literatüre önemli katkılar sunulmaktadır. Güvenlik iklimi üzerine yapılan çalışmalar bu çalışmaların başında gelmektedir. Örneğin, Choudrey vd., (2009) inşaat firmalarının güvenlik iklimlerini ölçmeye yönelik çalışma yaparak, güvenlik yönetimi kapsamında şantiye güvenliği hususlarını belirlemiş ve bu hususların arasındaki ilişkiyi inceleyerek inşa halinde olan şantiyelerin daha güvenli hala gelmesi için proje müdürlerine veya profesyonellere uygulanabilir güvenlik sistemi sunmuşlardır. Buna ek olarak, Patel and Jha, (2014) çalışmalarında Yapay Sinir Ağları'nı (YSA) kullanarak, çeşitli ülkelerin güvenlik iklimlerini tahmin etmiş, gerekli aksiyonların proje başlamadan alınmasını sağlamaya çalışmışlardır.

Güvenlik iklimi konusunun yanı sıra, birçok çalışma iş güvenliğinde risk konusunu da farklı boyutlarda konu edinmiştir. Araştırmalar sonucu, çoğu iş kazasına ve yaralanmalara sebep olan etkenlerin başında var olan risklerin değerlendirilememesi gelmiştir (Carter ve Smith, 2006; Tixier vd., 2014) ve bu yönde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ciarapica ve Giacchetta, (2008) çalışmalarında, iş kazalarının neden olduğu risk faktörlerini değerlendirmiş, kazalar ile risk faktörlerini ilişkilendirmiş ve trend olan kazaların tahminini yapmışlardır. Amibakhsh vd., (2013) Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemini kullanarak, inşaat projelerindeki iş güvenliği risklerini değerlendirmiş, bu riskleri göz önünde bulundurarak, uygun kaza tedbirlerine ve yatırımlarına karar aşamasında yol göstermiştir.

Veri toplama, bu tip çalışmaların en önemli yapıtaşları arasındadır çünkü toplanan veriler arasındaki ilişkiler incelenerek, kaza kök nedenlerinin, kazaya yatkın olan iş gruplarının ve durumların belirlenmesinin yanı sıra kaza tahmini yapan modellerin geliştirilmesine olanak sağlanabilir. Bu çalışmada, iş kazası tanımına uygun, "Keskin bir Cisim ile Temas Sonucu Yaralanma" vakaları incelenmiştir. Avrupa-Asya kıtalarında projeleri bulunan, farklı firmaların

şantiye-kaza raporları anonim bir şekilde alınmış ve çalışmayla bütünleştirilmiştir. Kaza etken faktörleri, bir başka deyişle kaza değişkenleri önce AHP yöntemi ile incelenmiş, daha sonra da YSA tahmin modeli kurulmuştur.

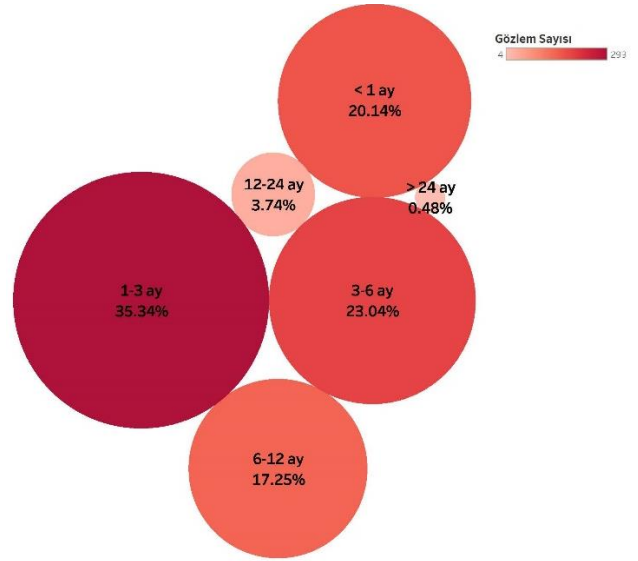
Sunulan bu çalışmada, daha önce yapılanlardan farklı olarak, “Keskin bir Cisim ile Temas Sonucu Yaralanma” olaylarını tetikleyen durumlar incelenmiştir. Bu nedenle, sunulan çalışmanın bu tip kazalara özel, kaza önlem tedbirlerinin belirlenmesinde önemli rol oynayacağı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, gerçek kaza verileri doğrultusunda kurulan YSA tahmin modeli sayesinde, muhtemel kaza senaryoları değerlendirilebilmesine ve bu yönde gerekli aksiyonların şantiye öncesinde alınmasına olanak sağlamak amaçlanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### Kaza Verileri

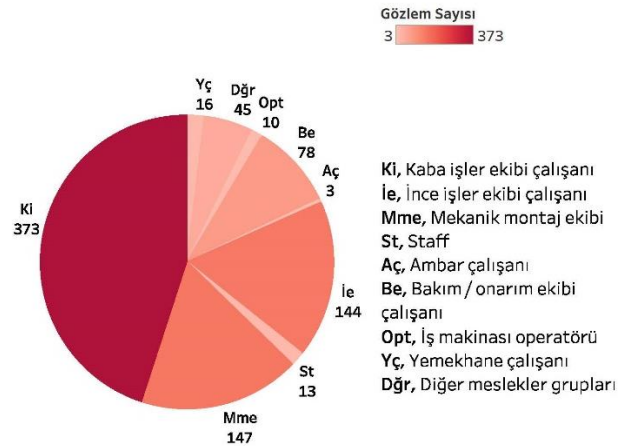
Bu bölümde, çalışmada kullanılan “Keskin bir Cisim ile Temas Sonucu Yaralanma” tipi iş kazalarının genel istatistikleri verilmektedir. Kaza verileri, Avrupa-Asya bölgesinde bulunan, özel taahhüt işleri kapsamında tamamlanmış ve inşa halinde olan 55 farklı endüstriyel yapı şantiyesinden şirket temsilcileri aracılığı ile alınmıştır. Araştırmada kullanılan toplam kaza sayısı 829 olup, 720’si YSA tahmin modeli eğitimi için, 109’u ise kurulan modellerin test işlemleri için rastgele dağıtılmıştır. Kazalar, tehlike derecelerine göre üç farklı grupta incelenmiştir. Sırası ile, Derece-1 kazalar, “Ramak-Kala”, “Ucuz-Atlasma”, Derece-2 kazalar, “İlk yardımcı-Kaza”, “Kısıtlı-İş görmezlik” ve Derece-3 “Tıbbi-Müdahaleli-Kaza”, “Kayıp-İş-Günlü-Kaza” ve “Ölümlü-Kaza” olmak üzere sınıflandırılmıştır.

Çalışmada kullanılan verinin daha iyi anlaşılması için, kaza etkenlerinin istatistikleri detaylı bir şekilde verilmiştir. Şekil 1’de kaza sayılarının, kaza etken faktörlerinden biri olan kazazede deneyimine göre dağılımı gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, kazaların %55.38’i, çalışma süreleri 3 ay veya 3 aydan daha az olan kişiler tarafından gerçekleşmektedir.



Şekil 1. Kazaların deneyime göre dağılımları

Bir diğer karşılaştırma ise, kazaların, kazazedelerin meslek gruplarına göre yapılmıştır. Şekil 2’de mesleklere göre kaza dağılımları, pasta grafik ile belirtilmiştir. Bu şekilden de anlaşıldığı gibi, kazalara en çok “Kaba işler ekibi”, “Mekanik montaj ekibi”, ve “İncel işler ekibi” maruz kalmaktadır.



Şekil 2. Kazaların meslek gruplarına göre dağılımları

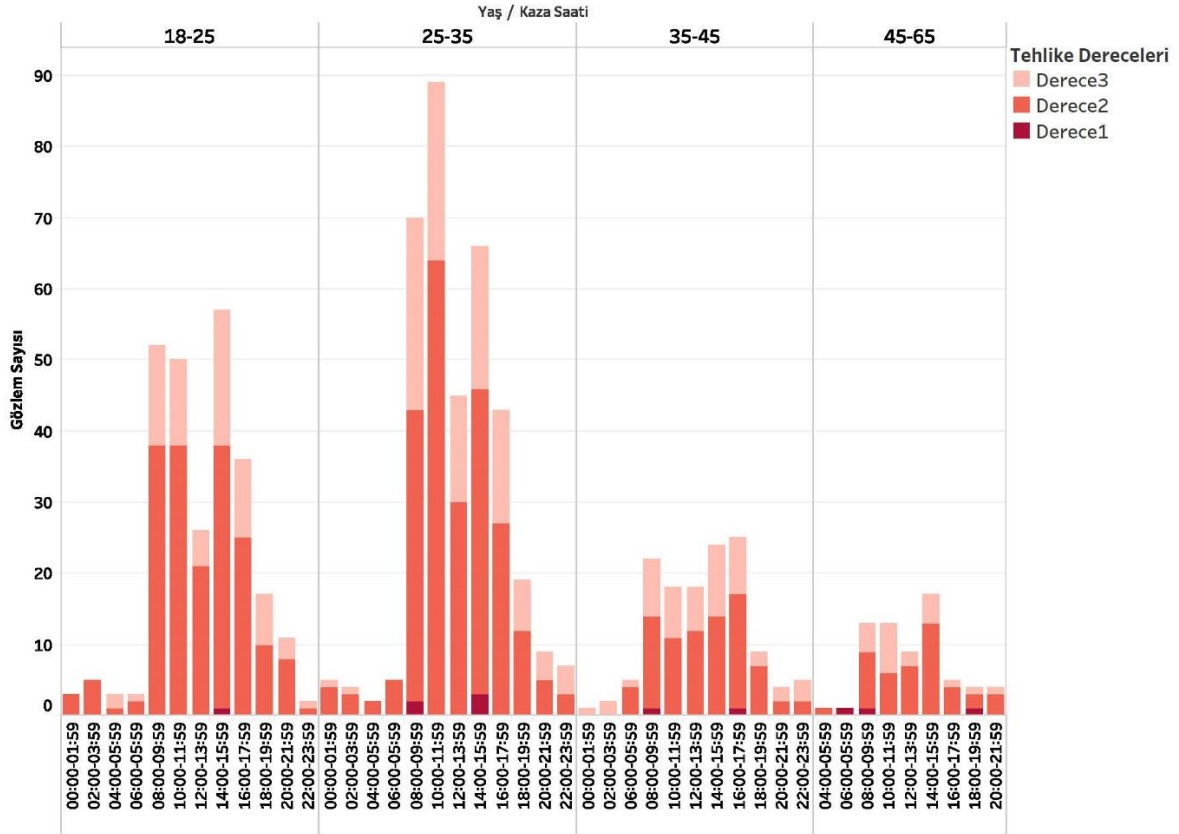
Şekil 3’te, kazazede yaşı, kaza saatleri ve kaza tehlike dereceleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Kazalar, en çok “18-25” ve “25-35” yaş aralığında gözlemlenmiştir. Ayrıca, işe başlama ve öğle arasına giriş saatlerinde kazaların sıklıkla yaşandığı görülmüştür. Çalışmadaki kazalar tehlikelere göre incelendiğinde ise, genel kazalarda geçerli olan yaş aralığının ve kaza zamanlarının aynı olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak, kaza değişkenleri 5

ana grup altında toplanarak incelenmiştir. Değişken detayları ve tehlike seviyelerine göre gözlem sıklıkları Tablo 1’de gösterilmektedir. En

çok gözlemlenen etkenler her grup için sırası ile “KF-1”, “KO-4”, “TD-1”, “U-1” ve “IF-4” olarak görülmüştür.

Tablo 1. Kaza değişkenleri (Kişisel Faktörler, Kaza/Olay Esnasındaki Faaliyetler, Tehlikeli Davranışlar, Tehlikeli Durumlar/Uygunsuzluklar ve İş Faktörleri)

Değişken Grubu	Değişken	Tanım	Gözlem Sıklığı		
			Derece 1	Derece 2	Derece 3
Kişisel Faktörler	KF-1	Mevcut riski değerlendirememesi	3	273	177
	KF-2	Beceri / anlamadaki yetersizlik	2	118	40
	KF-3	Fiziksel yetersizlik	1	22	5
	KF-4	Psikolojik yetersizlik	2	79	20
	KF-5	Eğitimsel problemler	3	97	71
	KF-6	Dengesiz iş yükü / üretime dayalı baskı	9	274	111
	KF-7	Hatalı yönetim sistemi	1	56	14
	KF-8	Diğer	1	29	12
Kaza/Olay Esnasındaki Faaliyet	KO-1	İnce işler (Genel)	0	43	24
	KO-2	Montaj işleri	1	95	47
	KO-3	El aleti / ekipman kullanımı	2	45	41
	KO-4	Rutin aktiviteler	2	134	48
	KO-5	Transport / ekipman / araç kullanma	0	4	4
	KO-6	Kaldırma operasyonları	2	55	40
	KO-7	Kalıp montajı / sökümü	3	92	21
	KO-8	Bakım / Onarım	0	8	0
	KO-9	Kaynak / ısıtma /sıcak çalışmalar	1	9	1
	KO-10	İzolasyon işleri	0	22	5
	KO-11	Diğer	0	41	30
	KO-12	Topograf işleri	0	4	0
	KO-13	Demir bağlama işleri	0	51	19
	KO-14	Beton / şap dökümü	0	12	3
	KO-15	Test işleri	0	1	2
	KO-16	Yüksekte çalışma	0	1	0
Tehlikeli Davranışlar	TD-1	Riski değerlendirememesi / mevcut tehlikelerin farkında olmama	8	402	225
	TD-2	Acele etme / kestirme yol kullanma	3	184	94
	TD-3	Güvenli çalışma yöntemi ihlali	3	205	154
	TD-4	Hatalı fiziksel hareketler	7	162	89
	TD-5	Yanlış alet-ekipman kullanılması / muhafazası	4	50	38
	TD-6	Güvenlik sistemlerinin kullanılmaması / yanlış kullanımı	2	144	64
	TD-7	Enerji yüklü hatta / ekipmanda enerji kesilmeden çalışma yapma	0	2	1
	TD-8	Diğer	0	10	13
Tehlikeli Durumlar / Uygunsuzluklar	U-1	Çalışma ortamındaki uygunsuzluklar	6	334	126
	U-2	Mekanik tehlikeler / uygunsuzluklar	2	48	41
	U-3	Uygunsuz alet / ekipman / araç kullanımı	1	37	20
	U-4	Uygunsuz koruma sistemleri / KKD	2	160	58
	U-5	Diğer	3	64	53
	U-6	Doğal tehlikeler	0	17	15
İş Faktörleri	IF-1	Yapım yöntemi ile ilgili problemler	3	165	98
	IF-2	Eksik veya yetersiz süpervizyon / yönetim liderliği	4	140	54
	IF-3	İletişim sisteminin yetersiz olması (Genel)	1	107	37
	IF-4	Kaza / analiz sisteminin yetersiz olması	3	175	130
	IF-5	Bakım / onarım sisteminin yetersiz olması	3	44	13
	IF-6	Taşeron seçimi / yönetimindeki problemler	0	44	15
	IF-7	Satın alma / malzeme kontrol / hatalı depolama	1	25	9
	IF-8	İSG / çalışma metodu eğitimlerindeki eksiklikler	1	44	24
	IF-9	Yetersiz kontrol, denetim ve izleme	0	96	107
	IF-10	Hatalı işe alım sistemi	1	26	10
	IF-11	Hasarlı koruyucu önlemler	0	16	1
	IF-12	Diğer	1	38	24



Şekil 3. Kazaların, kazazede yaşı, kaza saati ve kaza tehlike derecelerine göre incelenmesi

### Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi, çok kriterli karar verme mekanizmaları arasında en popüler olanıdır (Alonso ve Lamata, 2006; Saaty, 2008; Badri vd., 2012). AHP, ikili karşılaştırmalar ile alternatiflerin birbirleri üzerindeki etkilerini hesaplayarak karar matrisini oluşturur. Karar matrisleri ise, karara etki eden ölçütler veya alanında uzman görüşleri yardımıyla oluşturulabilir. En iyi alternatif, işlemler sonucu en büyük ağırlığa sahip olan olarak kabul edilir ve diğer seçenekler ağırlıklarına göre sıralanır.

Birçok farklı alanda olduğu gibi, AHP'nin İSG alanında da kullanımı yaygındır. AHP kullanımı, Henderson ve Dutta'nın, (1992) yapmış olduğu İSG ergonomik analizi kapsamında başlamıştır. Daha sonra, Padma ve Balasubramanie, (2009), omuz ve boyundaki, kas-iskelet sorunlarını ortaya çıkaran risk faktörlerini sıralamak amacı ile çalışmalarında AHP kullanmıştır. Badri vd., (2012), İSG risklerinin değerlendirilmesi için AHP ile uzman görüşüne dayanan bir çalışma sunmuşlardır. Amibakhsh vd., (2013) ise şantiyelerdeki güvenlik riski taşıyan öğeleri

önem sıralar göre dizmek için bu yöntemi kullanmışlardır.

AHP, karar matrisinin oluşturulması ile başlar. Karar matrisi (A), alternatiflerin ( $a_{ij}$ ) birbirleri üzerindeki etkilerinin, Tablo 2'de verilen ölçütlere göre tamamlanır. Aynı zamanda, karar matrisi, belirtilen (2) ve (3) koşullarını da sağlamak zorundadır.

Tablo 2. AHP skalası

Nümerik Skala	Tanım
1	İki elementte eşit önem taşır
3	Biri diğerine göre biraz fazla önem taşır
5	Biri diğerine göre oldukça önem taşır
7	Biri diğerine göre çok daha fazla üstünlük gösterir
9	Biri diğerine göre kesinlikle üstünlük gösterir
2,4,6,8	İki komşu seviye arasındaki ara değerler

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$a_{ij} > 0; a_{ij} \times a_{ji} = 1; \forall i \quad (2)$$

$$a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik} \quad \forall i, j, k \quad i, j, k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

A matrisi oluşturulduktan sonra, A matrisinin her kolonu toplanarak  $s_i$  değerleri bulunur. Daha sonra A matrisinin her bir elementi, her kolon için hesaplanan  $s_i$  değerlerine bölünür ve B matrisi oluşturulur. Oluşturulan B matrisinin, her sütununun ortalaması alınarak, her etkenin ağırlıkları hesaplanır.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{s_i} \quad \forall i, j \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad \forall i, j \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Kurulan modelin tutarlılığı için, tutarlılık oranı “Consistency Ratio”-(CR) %10’a eşit veya %10’dan küçük olmalıdır. CR’nin hesaplanması için, önce  $A_{n \times n}$  ve  $W_{n \times 1}$  matrisleri çarpılır sonucunda, elde edilen matris içerisindeki elementlerin en büyüğü  $\lambda_{max}$  olarak kabul edilir. Daha sonra (7), (8) ve Tablo 3’e göre CR oranı hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad CI, \text{Tutarlılık indeksi} \quad (7)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad RI, \text{Rastgele Tutarlılık indeksi} \quad (8)$$

Bu çalışmada, bir önceki bölümde belirtilen kaza etkenleri, AHP ile dokuz ana grup altında incelenmiştir. Bu dokuz grup, “Kaza Saati”, “Deneyim”, “Yaş”, “Meslek”, “Kişisel Faktörler”, “Kaza/Olay Esnasındaki Faaliyetler”, “Tehlikeli Davranışlar”, “Tehlikeli Durumlar / Uygunsuzluklar” ve “İş faktörleri” olarak sıralanmaktadır. Bu gruplarla ilgili detaylar, Şekil 1-3 ve Tablo 1’de verilmiştir. Her kaza etkeni, kendi grubu içerisinde, gözlemlenme sıklıklarına göre değerlendirilmiş ve bu etkenlerin her biri için ağırlıklar hesaplanmıştır. Bu ağırlıklarla, kazalar dokuz grup altında tanımlanmış ve YSA modeli için dokuz girdili veri tabanı oluşturulmuştur.

## Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA, insan beyninden, örüntü tanıma ve nedenselleştirme yönlerinden esinlenerek elde edilmiş, sayısal veya sayısal olmayan problemlerin matematiksel olarak çözümlendiği veri işleme sistemidir (Kim vd., 2004; Ung vd., 2006; Ceylan ve Avan, 2012; Kulkarni vd., 2017). İnşaat mühendisliği uygulamalarında da en çok tercih edilen tahmin yöntemlerinin başında gelmektedir.

Tahmin modeli kurulumu esas olarak, öğrenme fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu, öğrenme hızı gibi YSA parametreleri kullanımı için kesin bir kural olmadığından, deneme ve yanılma yöntemine dayanmaktadır. Dolayısıyla, veri biçimine uygun en iyi model iterasyonlar sonucu elde edilmektedir. İnşaat mühendisliği uygulamaları için, geri yayımlı öğrenme algoritması yeterli bulunmaktadır (Arditi vd., 1998; Arditi ve Tokdemir, 1999; Kulkarni vd., 2017). Bu çalışmada da, aynı öğrenme algoritmasını kullanmak yeterli bulunmuştur. YSA model kurulumu, *MATLAB Neural Tool* ile, *MATLAB 2017a*, programında tamamlanmıştır.

YSA modeli üç katmandan oluşmaktadır. Bunlar girdi katmanı, gizli katman (nöronların bulunduğu kısım) ve çıktı katmanıdır. Girdi katmanı, nöronlara bilgilerin aktarıldığı bölüm olarak adlandırılır. Girdiler sayesinde, model öğrenilmesi istenilen bilgileri matematiksel olarak çözümler ve girdi-çıkıtı arasındaki ilişkiyi tanımlar. Model kurulumunda, belirlenmesi gereken başlıca özellik, modelin eğitimi için hangi öğrenme fonksiyonun kullanılacağıdır. *MATLAB 2017a* programı öğrenme fonksiyonu için çeşitli seçenekler sunmaktadır. Bu çalışmada, “trainlm”, Levenberg-Marquardt geri yayımlı öğrenme algoritması ve “trainscg”, Gradient-Descent Momentum kullanılmıştır. Bu fonksiyonlarla ilgili detaylı bilgi edinmek isteyen okuyucular, belirtilen referanstan ilgili dokümanlara ulaşabilir (Mathworks, 2018).

Tablo 3. Alonso-Lamata RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
RI	0	0	0.52	0.88	1.11	1.25	1.34	1.41	1.45	1.49	1.51	1.54	1.55	1.57	1.58	1.6

Bununla beraber, aktivasyon fonksiyonu seçimi de modelin tahmin performansı açısından büyük bir öneme sahiptir çünkü aktivasyon fonksiyonu nöron çıktılarını belirleyen asıl elementtir (Uğur vd., 2011). Aktivasyon fonksiyonu olarak bu çalışmada, tanjant sigmoid, “tansig” kullanılmıştır. Çalışılan kaza verilerinde, girdiler ve çıktılar arasında non-linear bir ilişki vardır. Bu tip problemlerin analizlerinde, tansig fonksiyonun kullanımı önerilir. Bunların yanı sıra, kurulan modellerde, öğrenme hızı ve nöron sayısı gibi parametreler de değiştirilerek en uygun modeli elde etmek amaçlanmıştır.

## Bulgular

### AHP ile Ağırlık Atama

AHP yöntemi ile her değişken kendi grubu içerisinde incelenmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi kaza verileri dokuz farklı ana grup altında toplanmış ve bu gruplar altındaki kaza etkenlerinin detayları Şekil 1-3 ve Tablo 1’de gösterilmiştir.

Çalışmada ilk adım, karar matrislerini oluşturmakla başlar. Karar matrisleri dokuz ana grup için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Her bir kaza etkeninin ikili karşılaştırmaları, şantiyelerden alınan verideki görülme sıklığına göre yapılmıştır. Örneğin, KF-2 değişkeni “Keskin bir Cisim ile Temas Sonucu Yaralanma” olaylarında 158 kez gözlemlenirken, KF-3 değişkeni 27 kez bu kazaya sebebiyet vermiştir. Bu iki değişkenin gözlem oranları, 5.85’e eşit olmaktadır. Karar matrisinde ise bu değer Tablo 2’ye göre 6 olarak belirlenir. Sonuç olarak, AHP bölümünde gösterilen prosedürlerin uygulaması ile, her bir etken için ağırlıklar kendi grupları içinde hesaplanmıştır.

Tablo 4 ve Tablo 5’de sırası ile değişken grupları içerisindeki kaza etkenlerinin ağırlıkları detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Kaza üzerinde en çok etkiye sahip değişkenler, koyu ile gösterilmiştir. Tablolardan da anlaşıldığı gibi, Şekil 1-3 ve Tablo 1’de verilen bilgiler ile AHP ağırlık sonuçları tutarlıdır.

Tablo 4. Kaza Saati, Meslek, Deneyim ve Yaş değişkenlerinin kaza üzerindeki etkileri

Kaza Saati			Meslek			Deneyim			Yaş		
CR	Değişken	Ağırlık	CR	Değişken	Ağırlık	CR	Değişken	Ağırlık	CR	Değişken	Ağırlık
0.0572	00:00-02:00	0.015	0.0216	St	0.033	0.0352	< 1 ay	0.190	0.0080	18-25	0.288
	02:00-04:00	0.018		Mme	0.211		<b>1-3 ay</b>	<b>0.333</b>		<b>25-35</b>	<b>0.476</b>
	04:00-06:00	0.013		İe	0.184		3-6 ay	0.244		35-45	0.154
	06:00-08:00	0.022		<b>Ki</b>	<b>0.364</b>		6-12 ay	0.152		45-65	0.081
	08:00-10:00	0.162		Be	0.128		12-24 ay	0.060			
	<b>10:00-12:00</b>	<b>0.207</b>		Opt	0.025		>24 ay	0.021			
	12:00-14:00	0.117		Yç	0.040						
	14:00-16:00	0.182		Aç	0.016						
	16:00-18:00	0.133		Dğr	0.083						
	18:00-20:00	0.071									
	20:00-22:00	0.039									
	22:00-00:00	0.022									

Tablo 5. Kişisel Faktörler, Kaza/Olay Esnasındaki Faaliyetler, Tehlikeli Durumlar, Uygunsuzluklar ve İş Faktörlerinin kaza üzerindeki etkileri

Değişken Grubu	CR	Ağırlık															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
KF	0.019	<b>0.32</b>	0.11	0.02	0.07	0.14	0.24	0.05	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
KO	0.033	0.07	0.13	0.1	<b>0.16</b>	0.02	0.11	0.12	0.02	0.02	0.04	0.08	0.01	0.08	0.02	0.01	0.01
TD	0.059	<b>0.28</b>	0.16	0.2	0.14	0.06	0.11	0.02	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
U	0.012	<b>0.44</b>	0.1	0.06	0.23	0.13	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IF	0.020	0.18	0.12	0.09	<b>0.22</b>	0.04	0.04	0.02	0.06	0.14	0.03	0.01	0.05	-	-	-	-

Elde edilen kaza etken ağırlıkları, YSA modeli kurulumunda, kazaları matematiksel olarak açıklamada kullanılacaktır.

### YSA Modeli Tahmin Sonuçları

AHP sonucunda elde edilen kaza etkenlerinin ağırlıkları ile her ana grup altındaki değişkenler, matematiksel olarak ifade edilmiştir. Tablo 5’de verilen ana değişken grubu altındaki etkenlerin, kaza sırasında aynı anda gözlemlenmesi olağandır. Bu durumu, aynı değişken grubu altında matematiksel olarak ifade edebilmek için, etkenler birbirlerinden bağımsız kabul edilmiş ve aynı anda karşılaşılan etkenler, ağırlıklarının toplamı ile ana değişken grubu altında sayısal ifade ile tanımlanmıştır. Örneğin, KO-1 ve KO-3’ün, kaza sırasında gözlemlendiği varsayılın. Bu durumu, KO değişken grubu altında ifade edebilmek için, KO-1 ve KO-3’ün AHP sonucu elde edilen ağırlıkları Tablo 5’e göre toplanır. Daha sonra, toplanan ağırlık, KO değişkeninin, olay içerisindeki matematiksel ifadesi olarak kabul edilir. Fakat, aynı işlem Tablo 4’de belirtilen değişken grupları için yapılmamıştır, çünkü bu gruplar altındaki etkenlerin, aynı anda gözlemlenmesi ihtimali yoktur. Bu sebepten ötürü, “Kaza Saati”, “Meslek”, “Deneyim” ve “Yaş” belirtilen aralıklara atanan sayılar ile ifade edilmiş ve YSA verisine işlenmiştir.

YSA verileri ayarlandıktan sonra, MATLAB 2017a programı üzerinden farklı ağ

parametrelerine göre 10 farklı model oluşturulmuştur. Tablo 6’da oluşturulan modellerin, R-kare değerleri ve Ortalama Hata Kare’leri (OHK) hesaplanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda, en iyi performansı gösteren beş model seçilecek ve seçilen modeller test için ayrılan 109 kaza verisi ile denenecektir. Önceden de belirtildiği üzere, farklı öğrenme fonksiyonları, nöron sayıları ve öğrenme hızları, model oluşturma aşamasında denenmiştir. Kurulan modeller, öğrenme fonksiyonu açısından ele alındığında, “trainlm” fonksiyonu ile daha iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür. Nöron sayısı yönünden incelendiğinde ise, nöron sayısının belirli bir oranda artması, elde edilen R-kare değerlerine olumlu bir etkide bulunmuştur. Fakat, nöron-girdi oranının iki buçuğu geçtiği durumlarda, tekrar R-kare değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.

$$OHK = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y'_i - y_i)^2 \quad (9)$$

$y'_i$  tahmin edilen değeri,  $y_i$  gerçek değeri, OHK ise, ortalama hataların karesini temsil etmektedir.

Kurulan modeller arasından, en yüksek performansı gösteren beş tanesi, test için ayrılmıştır. Bunlar, model 2, 3, 4, 5 ve 9 olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Oluşturulan YSA modelleri

Öğrenme Fonksiyonu	Model	Nöron Sayısı	İterasyon Sayısı	Öğrenme Hızı	Aktivasyon Fonksiyonu	OHK	R kare			
							Öğrenme	Test	Validasyon	Tümü
trainlm	1	9	1000	0.01	tansig	0.13692	0.61256	0.56865	0.62395	0.60764
	2	18	1000	0.01	tansig	0.16238	0.69842	0.5387	0.61226	0.66201
	3	23	1000	0.01	tansig	0.1447	0.68863	0.59299	0.57839	0.65742
	4	18	1000	0.1	tansig	0.14919	0.66477	0.56276	0.58017	0.63601
	5	18	1000	0.5	tansig	0.16355	0.67818	0.64271	0.54803	0.65258
trainseg	6	9	1000	0.01	tansig	0.1548	0.64436	0.57535	0.55964	0.62079
	7	18	1000	0.01	tansig	0.14969	0.6551	0.55182	0.5805	0.62785
	8	23	1000	0.01	tansig	0.16069	0.6409	0.59611	0.53533	0.61864
	9	18	1000	0.1	tansig	0.11159	0.66411	0.70607	0.47918	0.64383
	10	18	1000	0.5	tansig	0.14294	0.65198	0.55853	0.60357	0.63021



Tablo 7. Test sonuçları

Model	Derece 1			Derece 2			Derece 3			Kümülatif Başarı
	Gerçek Gözlem	Doğru Tahmin	Başarı	Gerçek Gözlem	Doğru Tahmin	Başarı	Gerçek Gözlem	Doğru Tahmin	Başarı	
2	2	0	%0.0	82	71	%86.6	25	6	%24.0	%70.6
3	2	1	<b>%50.0</b>	<b>82</b>	<b>73</b>	<b>%89.0</b>	<b>25</b>	<b>11</b>	<b>%44.0</b>	<b>%78.0</b>
4	2	0	%0.0	82	72	%87.8	25	5	%20.0	%70.6
5	2	0	%0.0	82	71	%86.6	25	3	%12.0	%67.9
9	2	0	%0.0	82	70	%85.4	25	8	%32.0	%71.6

Bir sonraki adım da belirlenen modeller, önceden ayrılan 109 kaza verisi ile teste tabii tutulmuştur. Tablo 7’de test sonuçları detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Model başarı performansları (10)’a göre hesaplanmış ve gerek her hedef gerek ise toplam model başarıları bulunmuştur.

$$Başarı = \frac{\sum \text{Doğru Tahmin Sayısı}}{\sum \text{Gerçek Gözlem}} \quad (10)$$

Genel olarak modellerin başarılarına bakıldığında, doğru tahmin oranlarının, Derece-2 kaza tiplerinde daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebi ise, kullanılan kaza verilerinin ağırlıklı olarak, 2. Derece tehlikeli kazalarından oluşmasıdır. Şekil 3 incelendiğinde, Derece-2 kazalarının, asıl verinin %60’ından fazlasını oluşturduğu aşikardır. Bunun yanı sıra, Model 3 haricinde ki hiç bir model, Derece-1 tipi kazalarda başarı gösterememiştir ve toplam başarı yüzdeleri umut verici olsa da, Derece-3’lerde ki başarıları da tatmin edici değildir. Dolayısıyla, en iyi tahmin yapabilen model olarak, 3.’sü seçilmiştir. Başarı sırasına göre sırasıyla Model 3, Derece-2’de %89.0, Derece-1’de %50, Derece-3’te %44.0 ve son olarak toplamda %78.0 doğru tahmin başarıları yapabilmektedir. Model 3’ün hangi parametrelerle kurulduğuna Tablo 5’den bakıldığında ise, öğrenme fonksiyonu olarak “trainlm”, nöron-girdi oranı olarak “2.5 kat”, öğrenme hızı olarak “0.01” kullanıldığında, en iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür.

## Sonuçlar ve Tartışma

İş kazaları, günümüzde çoğu firma için hala büyük bir sorun olarak öne çıkmaktadır. İş kazaları, sağlık sorunlarının yanı sıra, fazladan masraf ve iş gücündeki azalma ile, projede

gecikmelere sebebiyet vermektedir. İSG sistemlerini kurmuş büyük ölçekli firmaların bile ciddi iş kazaları ile karşılaşması muhtemel bir durumdur. Bu sebeple, yapılan çalışmada, inşaat sektöründe yaygın bir şekilde karşılaşılan “Keskin bir Cisim ile Temas Sonucu Yaralanma” olaylarını önlemek, kaza etken faktörlerini detaylı bir şekilde araştırmak ve profesyonellere inşa öncesi veya inşa aşaması muhtemel kaza senaryolarını göstermek amaçlanmıştır. Çalışmada farklı inşaat şirketlerinin farklı şantiyelerinden anonim bir şekilde toplanan 829 adet spesifik kaza verisi kullanılmış, kaza etkenleri ve tehlike dereceleri arasında ise akım yakalama hedeflenmiştir.

Çalışma iki ana kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda AHP yöntemi ile kaza etkenlerinin ağırlıkları, buldukları gruplar içinde hesaplanmıştır. Bu yöntem ile, çalışılan kazaları engellemek için alınacak önlemlerin daha rahat ve etkili alınması olanağı sağlanmıştır. Kaza etkenleri dokuz ana grup altında toplamış ve her grup için AHP uygulanmıştır. AHP sonucunda, kazaların en çok öğle arasına giriş saatlerinde görüldüğü, “Kaba işler ekibi” çalışanlarının ise en çok bu kazaya maruz kaldıkları anlaşılmıştır. Bunların yanı sıra, kazalarda gençlerin ağırlıklı olduğu ve deneyim bakımından da 3 aydan daha az deneyimlilerin çoğunluğu oluşturduğu gözlemlenmektedir. Kazalara en çok sebebiyet veren durumların başında ise, mevcut riskleri değerlendirememesi ve çalışma ortamındaki uygunsuzlukların olduğu görülmektedir. Kaza etkenlerinin ağırlıkları ile ilgili detaylar, Tablo 4 ve 5’te verilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında, YSA tahmin modeli kurulumu anlatılmıştır. Öncelikle, AHP sonucu

elde edilen ağırlıklar ile, kazalar matematiksel olarak 9 ana başlık altında tekrar açıklanmış ve YSA veri tabanı oluşturulmuştur. Daha sonra, rastgele ayrılan 829 kazadan, 720'si öğrenme sürecinde, 109'u ise test aşamasında kullanılmıştır. En iyi model, “trainlm” öğrenme fonksiyonu ile nöron-girdi oranı iki buçuğa eşitken kurulur ve modelin Derece-1, Derece-2, Derece-3 ve toplamdaki başarısı sırası ile %50, %89, %44 ve %78'e eşittir. Kurulan YSA modeli, kaza senaryolarını önceden analiz etme, hangi etken ile ne gibi sonuçların olabileceğini gözlemlene olanaklarını “Keskin bir Cisim ile Yaralanma” olayları için sağlamaktadır.

Yapılan çalışmada bazı sınırlamalar da mevcuttur. Araştırmacılar kurulan modeli ve verilen istatistikleri incelerken, bu verilerin sadece “Keskin bir Cisim ile Temas Sonucu Yaralanma” vakaları için uygun olabileceğini göz önünde bulundurmaları gerekir. Bir başka deyişle, çıkan sonuçların her kaza türüne göre genellenmesi, doğru sonuçlar çıkarmayabilir. Ayrıca, Model kurulumunda kullanılacak farklı veriler, sonuçlarda farklılaşmaya neden olabilir. Bu ek olarak, kurulan modelin tahmin başarısı umut verici olsa da, veri tabanı içerisinde, çoğunlukla Derece-2 sınıfına giren kaza tiplerinin olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, şantiyelerde kazalar kaydedilirken, kayıt aşamasında tehlikeli sonuçlanan kazalara verilen önem kadar, ucuz atlatma ve ramak kala olaylarına verilmemesi olabilir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için, kazalar tehlikeleri önemsenmeden detaylı bir şekilde tutulabilir. Öte yandan, kurulan modelin Derece-3 tipi kazalardaki tahmin başarısı, diğerlerine göre daha azdır. Çünkü tıpkı Derece-1 verileri gibi, Derece-3'ünde veri içerisindeki yoğunluğu Derece-2'ye göre azdır. İleride yapılacak çalışmalarda, her tehlike grubu için belli bir sayının üzerinde kaza verisi toplanır ise, daha iyi tahmin sonuçları ile karşılaşılacağı olağan gözükmemektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada, “Keskin bir Cisim ile Temas Sonucu Yaralanma” olaylarının yanı sıra, kaza kayıt sistemine sahip organizasyonlar veya inşaat şirketlerinin, çalışmada sunulan

yöntem ve tekniklerle kazaları önleme ve kaza kök nedenlerini bulma konularında yarar sağlamaları amaçlanmıştır.

## Kaynaklar

- Alonso, J. A., & Lamata, M. T. (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 14(4), 445–459.  
<https://doi.org/10.1142/S0218488506004114>
- Amerika Birleşik Devletleri Çalışma Bakanlığı-İşgücü İstatistik Bürosu.  
<https://data.bls.gov/gqt/ProfileData>. Erişim Tarihi, Eylül, 30, 2018.
- Aminbakhsh, S., Gunduz, M., & Sonmez, R. (2013). Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. *Journal of Safety Research*, 46, 99–105.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2013.05.003>
- Arditi, D., Oksay, F. E., & Tokdemir, O. B. (1998). Predicting the Outcome of Construction Litigation Using Neural Networks. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 13(2), 75–81. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/0885-9507.00087>
- Arditi, D., & Tokdemir, O. B. (1999). Comparison of Case-Based Reasoning and Artificial Neural Networks. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 13(3), 162–169. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1999\)13:3\(162\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1999)13:3(162))
- Badri, A., Nadeau, S., & Gbodossou, A. (2012). Proposal of a risk-factor-based analytical approach for integrating occupational health and safety into project risk evaluation. *Accident Analysis and Prevention*, 48, 223–234.  
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.05.009>
- Choudhry, R. M., Fang, D., & Lingard, H. (2009). Measuring Safety Climate of a Construction Company. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(9), 890–899.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000063](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000063)

- <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2008.07.001>
- Carter, G., & Smith, S. (2006). Safety Hazard Identification on Construction Projects. *Journal Construction Engineering and Management*, 132(2), 197-205. 10.1061/(ASCE)0733-9364 (2006)132:2(197)
- Ciarapica, F. E., & Giacchetta, G. (2009). Classification and prediction of occupational injury risk using soft computing techniques: An Italian study. *Safety Science*, 47(1), 36–49. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.01.006>
- Eurostat Statistics Explained. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents\\_at\\_work\\_statistic\\_s#Number\\_of\\_accidents](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents_at_work_statistic_s#Number_of_accidents). Yayın tarihi Haziran, 2018. Erişim Tarihi Eylül, 25, 2018.
- Health and Safety Executive. (2014). *Annual Report and Account 2013/2014*, Her Majesty's Stationery Office, London
- Henderson, R. D., & Dutta, S. P. (1992). Use of the analytic hierarchy process in ergonomic analysis. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 9(4), 275–282. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(92\)90061-4](https://doi.org/10.1016/0169-8141(92)90061-4)
- Kim, G. H., An, S. H., & Kang, K. I. (2004). Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. *Building and Environment*, 39(10), 1235–1242. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.02.013>
- Kulkarni, P. S., Londhe, S. N., & Deo, M. C. (2017). Artificial Neural Networks for Construction Management: A Review ARTICLE INFO ABSTRACT. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 1(2), 70–88. <https://doi.org/10.22115/scce.2017.49580>
- Mathworks 2018, <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ug/choose-a-multilayer-neural-network-training-function.html;jsessionid=fa12e77c706952ceb712c5b69670>. Erişim Tarihi Eylül, 28, 2018.
- Patel, D. a., & Jha, K. N. (2014). Neural Network Approach for Safety Climate Prediction. *Journal of Management in Engineering*, 31(3), 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000348](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000348)
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Ung, S. T., Williams, V., Bonsall, S., & Wang, J. (2006). Test case based risk predictions using artificial neural network. *Journal of Safety Research*, 37(3), 245–260. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2006.02.002>
- Tixier, A. J., Hallowell, M. R., Albert, A., van Boven, L., & Kleiner, B. M. (2014). Psychological Antecedents of Risk-Taking Behavior in Construction. *Journal Construction Engineering and Management*, 10.1061/(ASCE)CO.1943- 7862.0000894, 04014052.
- Uğur, L. O., Baykan, U. N., & Korkmaz, S. (2011). Y ığma Konutların Maliyet Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının ( YSA ) Kullanılması, 6. *İnşaat Yönetimi Kongresi*, (386), 25–26.
- Uluslararası Çalışma Örgütü. *Safety and Health at Work*. <https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang-en/index.htm>. Yayın Tarihi Ocak, 2016. Erişim Tarihi Eylül, 26, 2018.
- Uluslararası Çalışma Örgütü. <https://www.ilo.org/ilostatcp/CPDesktop/>. Erişim Tarihi Eylül, 26, 2018.
- Padma, T., & Balasubramanie, P. (2009). Knowledge based decision support system to assist work-related risk analysis in musculoskeletal disorder. *Knowledge-Based Systems*, 22(1), 72–78.

## The Analysis of Accidents with Contact of Sharp Objects by using Analytic Hierarchy Process and Artificial Neural Networks

### Extended abstract

*Occupational Health and Safety is still a crucial problem for the construction industry despite many improvements in this field. As well as the health problems, it may create a serious level of additional expenses which may affect the cost of the project. The difficulties in solving problems related to OHS in the construction industry depends on the hardness of describing the relation between the triggering factors and accident as the construction industry is based on the labor force.*

*In his study, the accident records collected from the different construction sites of different companies were utilized in order to analyze attributes of the special case of "Contact of Sharp Object," and to develop a prediction model in accordance. There were 829 accident cases; these had been taken from 55 different construction sites. The dataset was investigated in three different groups regarding their severity level as "Degree-1", "Degree-2", and "Degree-3". Degree-1 cases consist of "At Risk Behavior" and "Near Misses," and Degree-2 includes "Cases with First-Aid," and "Cases with Partial Failure." The last and most severe group is Degree-3 comprises of "Cases with medical intervention," "Lost workday cases" and "Fatalities."*

*After dividing into three different group, attributes of accidents were collected into nine major groups. When the cases were explained, the features of the accidents were collected according to these groups such as, "time of the accident," "occupation," "age," "experience," "human-factors," "workplace factor," "nonconformities," "hazardous-behaviors" and "activities-at-the-time-of-accident. Under these groups, Analytic Hierarchy Process was applied to analyze the weight of each attribute under their groups only. The AHP started with establishing decision matrix where pairwise comparison of each attribute was performed. In AHP, two options were available to rank the importance of one attribute on the other one as scoring by the expert or quantitative information related with the attributes. The authors*

*preferred to use the second one since the observation frequency of each attribute for this special case was found sufficient. Therefore, the AHP process was completed, and the findings of AHP showed which attributes are most influential under every nine groups. According to the AHP results, the key factor that causes to this accident was the inability to percept existing risks in the workplace, and the accidents occurred near the time of resting like between 10:00 and 12:00 a.m. Besides, the rough work crew has the highest potential, and the victims were generally younger than 35 years old whose level of experiences was too low.*

*After completing the AHP, each attribute was assigned its weight under their groups, and the accident cases were rewritten in mathematical format. That mean, attributes were expressed with their weights, and under the same group if more than one attributes were observed, the weight of these will be summed, and noted under concerned groups since the attributes under same groups were assumed as mutually exclusive events. When finishing this operation, the dataset was ready to be integrated with Artificial Neural Network so that the prediction model could be developed. Collected 829 cases were divided into two groups randomly. 720 of them were utilized for training of model, and with the remaining, the testing of the model was carried out. The best model achieved to 78% prediction accuracy, and the highest accuracy was accomplished in Degree-2 cases.*

*As a result, the proposed study enables professionals to forecast the possible risks and scenario of "Contact of Sharp Object" accidents, and to understand the triggering factors in detail both the preconstruction and construction phases.*

**Keywords:** Artificial Neural Network (ANN), Analytic Hierarchy Process (AHP), Occupational Health and Safety (OHS)



## Uçucu kül ve silis dumanı ikameli üçlü karışımlardan üretilen kendiliğinden yerleşen harçların durabilite ve dayanım özellikleri

**Ahmet BENLİ\***

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl

[abenli@bingol.edu.tr](mailto:abenli@bingol.edu.tr) ORCID: 0000-0002-3005-6123, Tel: (426) 2160012 (1949)

**Mehmet KARATAS**

Firat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ

[mkaratas@firat.edu.tr](mailto:mkaratas@firat.edu.tr) ORCID: 0000-0002-3705-846,

Geliş: 23.08.2018, Kabul Tarihi: 06.11.2018

### Öz

*Bu deneysel çalışmada, Portland Çimentosu (PÇ) yerine farklı oranlarda uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) ikame edilerek üretilen Kendiliğinden Yerleşen Harçların (KYH) dayanım ve durabilite özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. KYH 'lar, PÇ yerine ağırlıkça %6, %10 ve %14 oranlarında SD ile birlikte 10% UK, ağırlıkça %6 ve %10 oranlarında SD ile %20 UK ikame edilerek mineral katkı ve kontrol numunesiyle birlikte 6 adet karışımla numuneler hazırlanmıştır. Toplam bağlayıcı miktarı 630 kg/m<sup>3</sup> olan 6 farklı karışımla üretilen KYH' in taze ve sertleştirilmiş koşullarda davranışı yapılan deneylerle araştırılmıştır. Karışımların Su/bağlayıcı (s/b) oranı 0.39 ila 0.44 arasında kalması sağlanmıştır. UK ve SD ikameli üçlü karışımlardan üretilen KYH'ların taze özelliklerini ölçmek için slump çapı ve V-huni akış hızı süresi tespit eden testler yapılmıştır. KYH'lardan üretilen sertleşmiş numunelerin basınç ve çekme dayanımlarını için 40x40x160 mm boyutunda numuneler 28 ve 90 günlük suda kür edilmiş ve test edilmiştir. Durabilite özelliklerini araştırmak amacıyla 50 mm boyutunda küp numuneler üretilmiş ve 28 gün suda bekletildikten sonra toplam su emme, porozite ve yoğunluk değerleri tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda UK10SD6 den üretilmiş üçlü karışımlarının en iyi basınç ve eğilme dayanımı gösterdiği gözlemlenmiştir.*

**Anahtar kelimeler:** Kendiliğinden yerleşen harç, uçucu kül; silis dumanı, taze özellikler, dayanım özellikleri, durabilite

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Mineral katkı maddeleri, çimentonun harç karışımlarında ve hafif beton, reaktif pudra, silindirle sıkıştırılmış ve kendiliğinden yerleşen beton gibi bazı beton türlerinde, puzolanik ve / veya kendinden bağlama etkilerinden kaynaklanan mekanik özellikleri ve dayanıklılığı arttırmak için kullanılmaktadır. (Mardani-Aghabaglou vd., 2014; Li vd., 2017; Mohamed ve Najm, 2017). Mineral katkıların incelendiğinde, taze betonun işlenebilirliği, sertleştirilmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığı en çok ilgilenilen özelliklerdir.

Uçucu kül ve silika dumanı, beton / harçta en çok kullanılan mineral katkı maddeleridir. Uçucu kül, su talebi ve hidrasyon ısısını azaltmak, kusmayı azaltmak ve iyi bir durabilite elde etmek gibi beton üzerinde çok olumlu etkileri vardır (Wang vd., 2016).

Silika dumanı, çimento yerine yüksek performanslı beton (YPB) üretmek için mineral katkı olarak kullanılır. Beton / harçta etkili bir puzolanik malzeme olan silika dumanının eklenmesinin, daha sonra geçirimsiz bir gözenek ve süreksiz yapı oluşturması ardından, normal Portland çimentosu üretildiği belirtilmektedir. Silis dumanının değiştirilmesi ile alkali ve OH iyonlarının gözenekli sıvılara salınmasından kaynaklanan erken yaşta hidrasyon oranı da artmaktadır. (Mardani-Aghabaglou vd., 2014; Sabet vd., 2013; Sadrmomtazi vd., 2018). Ayrıca, betonda mineral katkıların kullanılması faydaları doğayı korumak ve ekonomiyi sağlamaktır. İşlenebilirlikte fayda sağlayan, kendiliğinden yerleşen beton (KYB), geleneksel betona kıyasla işçilik maliyetlerini ve yüksek mukavemeti azaltır, yeni beton teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır ve kullanımı son 30 yılda hızla artmış ve yayınlanmış eserlerin sayısına yansıtılmıştır. Kendiliğinden yerleşen harç (KYH), KYB'na benzer mekanik ve dayanıklılık özellikleri sergiler ve KYB'un performans mekanizmalarını incelemek için kullanılabilir. (Sahmaran vd., 2006). Harç, KYB işlenebilirlik özelliklerinin temelini oluşturur ve bu özellikler

KYH'lar ile değerlendirilebilir. Aslında, KYH'ların özelliklerini değerlendirmek KYB tasarımının ayrılmaz bir parçasıdır (Sahmaran vd., 2006; Domone ve Jin, 1999). KYB / KYH üretiminde yüksek seviyelerde suyu azaltan süper akışkanlandırıcı ve/veya viskozite düzenleyiciler kullanılır. (Sonebi, 2004; Chen vd., 2013, Ghrici vd., 2007).

Süper akışkanlandırıcı kullanımı akışkanlığı korurken, ince içerikli karışımın stabilitesini sağlar ve böylece kuma ve ayrışmaya karşı direnç kazanır. Uçucu kül ve silika dumanının KYB'na eklenmesi, sadece Portland çimentosundan üretilen karışımlara kıyasla benzer bir yayılma çapı sağlamak için gereken süper akışkanlandırıcı miktarını azaltır. Wongkeo ve Chaipanich (2010) ve Yahia ve diğerleri (1999) yaptıkları çalışmada UK ve SD çimento yerine ikame edilerek üretilen ikili ve üçlü karışimli harçların otoklav küründeki basınç dayanımlarını incelemişlerdir. UK içeren ikili karışımların basınç dayanımının, artan UK içeriği ile azaltma eğilimi gösterdiği ve kontrol numunelerinden daha düşük bir basınç dayanımı ortaya koyduğu sonucuna varmışlardır. Öte yandan, SD katkılı ikili karışımları basınç dayanımını arttırmış ve kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında, basınç dayanımı daha yüksek bir değere sahip olmuştur. Poon ve diğerleri (1997) çeşitli kütleme çeşitlerinin gözenek yapısı üzerindeki etkileri ve UK içeren harçların özellikleri üzerine bir araştırma yapmıştır. Hamurlar ve agregalar arasındaki ara yüzey bölgesinin F sınıfı uçucu kül tarafından geliştirildiğini bulmuşlardır. Wongkeo ve diğerleri (2012) C sınıfı uçucu kül ve silis dumanının ikili ve üçlü karışımlarını içeren KYB'un klorür direncini ve basınç dayanımını araştırmıştır. Çalışma KYB' un 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımının genel olarak azaldığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, uçucu kül ve silis dumanının üçlü karışımlarının basınç dayanımı, aynı içerik için uçucu külün ikili karışımlarına göre 7 gün sonra daha iyi bir performans göstermiştir. Leung ve diğerleri (2016), F sınıfı uçucu kül ve silika dumanı içeren KYB'un kılcal su emme durumunu

incelemişlerdir. Araştırma, uçucu kül ve silis dumanının önemli ölçüde, KYB'un su/bağlayıcı (s/b) oranının 0.38 olduğunda kılcal suemmesini azalttığını göstermiştir. Siddique (2013), uçucu kül içeriği arttıkça KYB karışımlarının kılcal su emmesinin arttığını göstermiştir. Bu çalışmada EFNARC tarafından yayınlanan standartlar kullanılmıştır (Zhao vd., 2018). EFNARC'a (2005) göre; KYB un işlenebilirliği, doldurma kapasitesi, akış hızı ile belirlenen uygun viskozite, dar kısımdan geçme yeteneği ve ayrışma direnci ile donatılabilir (Karatas vd.,2017; Rao vd., 2015, Benli vd., 2017). KYB / KYH'ların yüksek akışkanlığına ulaşmak için iri agreganın sınırlayıcı miktarı yaygın bir yöntemdir. Bu çalışmanın temel amacı, KYH'ların mekanik özelliklerini, farklı kür sürelerinde (28 ve 90 gün) ve 28 günlük durabilite özelliklerinde incelemektir. Bu amaçla, KYH'ların üçlü karışımları hazırlanmış ve Portland çimentosunun C sınıfı uçucu kül (UK) silis dumanının (SD) farklı ikame içerikleriyle değiştirilmesiyle üretilmiştir. KYH'ların davranışını taze ve sertleştirilmiş koşullarda gözlemek için 630 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı ile 6 farklı karışım hazırlanmıştır. s/b oranı 0.39 ila 0.44 arasındadır. Sertleşmiş harç özellikleri 28 ve 90 günlük basınç dayanımı ve eğilme dayanımı testleri ile değerlendirilmiştir. UK ve SD içeren KYH'ların taze özelliklerini değerlendirmek için mini çökme akış çapı ve mini V-huni akış süresi testleri yapıldı. Ek olarak, 28 günde kürlenmiş KYH örneklerinin dayanıklılık porozite ve görünür yoğunluk özellikleri de değerlendirilmiştir.

## Materyal ve Yöntem

Bu çalışmanın amacı, uçucu kül ve silis dumanının farklı oranlarda mineral katkı olarak kullanıldığı kendiliğinden yerleşen harçların mekanik ve durabilite özelliklerini araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda 40\*40\*40 mm<sup>3</sup> boyutlarında kendiliğinden yerleşen harç numuneleri üretilmiştir. Kendiliğinden yerleşen harcın taze haldeki özelliklerini incelemek için EFNARC tarafından önerilen mini V hunisi ve

mini slump testleri yapılmıştır. Bunların yanı sıra 28 günlük kür süresinin sonunda porozite, su emme ve yoğunluk deneyleri yapılmıştır.

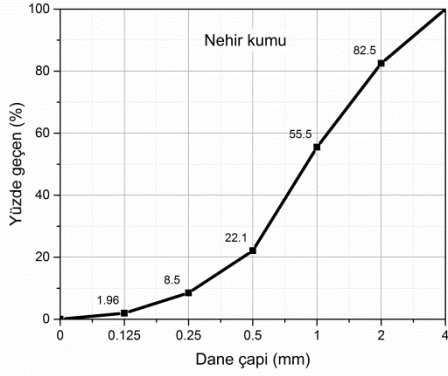
## Malzemeler

Kendiliğinden yerleşen harç üretmek için CEM-I 42,5 N tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan C sınıfı uçucu kül Soma Termik Santrali'nden, silis dumanı ise Antalya Elektro Metalurji İşletmesi'nden temin edilmiştir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Portland çimentosu, uçucu kül ve silis dumanın özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)	PÇ	UK	SD
SiO <sub>2</sub>	21.12	38.34	91.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.62	16.69	0.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.24	5.11	0.24
CaO	62.94	27.62	0.71
MgO	-	1.60	0.33
SO <sub>3</sub>	2.3	4.44	-
Na <sub>2</sub> O	-	-	-
K <sub>2</sub> O	-	-	-
Cl	-	-	-
Kızdırma kaybı	3.52	0.79	1.84
<b>Fiziksel Özellikler</b>			
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.1	2,50	2,2
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3490	1343	96,5%<45µm

Karışımlarda kullanılan ince agrega doğal dere kumudur. Özgül ağırlık, incelik modülü ve su emme değerleri sırası ile 2.63 g/cm<sup>3</sup> suemme, 3.29 ve %1.91'dir. Kullanılan kumun maksimum tane çapı 4.00 mm'dir (Şekil 1). Ek olarak düşük su/bağlayıcı oranında istenen işlenebilirliği elde etmek için modifiye polikarboksilat esaslı polimer yapılı ViscoCrete SF-18 yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı (SA) kullanılmıştır.



Şekil 1. İnce agreganın tane dağılımı

### Karışım oranları ve taze beton deneyleri

Kontrol karışımı dâhil  $630 \text{ kg/m}^3$  dozajında 6 farklı karışım, KYH'nın taze ve sert harç özelliklerini gözlemlemek üzere hazırlanmıştır. UK ve SD içeren karışımların taze harç özelliklerini belirlemek için mini slump ve mini V hunisi deneyleri yapılmıştır. Farklı oranlarda UK ve SD içeren KYB harçlarının karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir. KYH'ların SA oranlarını değiştirmek suretiyle 240-260 mm'lik bir yayılma akış çapına ulaşacak şekilde tasarlanmıştır. Arzulanan yayılma çapını elde etmek için her bir karışım için ayrı deneyler yapılmıştır. Ulaşmak istenen değerler EFNARC tarafından önerilmektedir. UK ve SD den sonraki her sayı harçtaki her bir mineral katkı miktarını gösterir. Örnek olarak UK10SD10; yüzde 10 uçucu kül ve yüzde 10 silis dumanı ikamesini belirtmektedir.

Tablo 2. Karışım Oranları

NUMUNE ADI	PÇ	UK	SD	KUM	S/T
KONTROL	630	0	0	1306	0.39
UK10SD6	529.2	63	37.8	1278	0.40
UK10SD10	504	63	63	1236	0.42
UK10SD14	478.8	63	88.2	1211	0.44
UK20SD6	466.2	126	37.8	1282	0.39
UK20SD10	441	126	63	1207	0.44

### Numunelerin Üretilmesi

Tüm karışımlar için öncelikle çimento, mineral katkılar ve kum ilk 1 dakika kuru halde karıştırılmıştır. Daha sonra SP suya ilave edilip kuru karışıma eklenerek 4 dakika daha karıştırılmıştır. Taze harçların işlenebilirliği, EFNARC standartlarına göre mini slump ve V hunisi deneyleri ile elde edilmiştir. Basınç ve eğilme dayanımları 28 ve 180 gün suda kür edilme işleminden sonra  $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$  boyutunda üretilen prizmatik nümünler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Durabilite deneyleri için 28 gün boyunca suda kürlenmiş 50 mm<sup>3</sup> küp örnekleri kullanılmıştır.

### Numunelerin Kür Edilmesi

Ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında UK, ağırlıkça %6, %10, %14 oranlarında SD, PÇ yerine ikame edilerek mineral katkılı ve mineral katkısız 1 adet kontrol 5 adet üçlü karışım olmak üzere toplam 6 adet karışımla numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra bu numuneler 1 gün kalıpta bekletildikten sonra, şehir şebeke suyu ile doldurulan  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki kür havuzunda 28 ve 90 gün süre ile kür için bekletilmişlerdir.

### Deney Metotları

#### Taze harç için işlenebilirlik deneyleri

Mini V hunisi testi ve mini slump deneyi, KYH'ların işlenebilirliğini ölçerken, EFNARC (2005) 'ye göre yapılmıştır. Mini slump deneyinde, kesik koni düz bir plaka üzerinde harçla doldurulmuş ve yukarı doğru kaldırılmıştır. Çap, harcın birbirine dik iki boyutuna yayılan harcın ortalaması alınarak belirlenmiştir ve bu değer 240-260 mm arasında kalması sağlanmıştır. V-hunisi deneyinde, huniyi harçla tamamen doldurduktan sonra harcın akmasına izin vermek için alt çıkış açılmıştır. Kapağın açıldığı andan üstten bakıldığında ışığın görüldüğü ana kadar geçen süre t süresi olarak kaydedilmiştir. Bu deneyde V-hunisi akma zamanının 7-11 sn arasında



kalması sağlanmıştır. Bu değerler EFNARC tarafından önerilmektedir.

### Basınç ve eğilme dayanım deneyleri

Taze harç testlerinin tamamlanmasından sonra, harçlar 40x40x160 mm çelik kalıplara dökülmüştür ve 24 saat sonra kalıptan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkarıldıktan sonra, numuneler sertleşmiş beton deneylerinin uygulanacağı güne kadar (20 ± 2) C sıcaklıkta su içinde kür edilmiştir. 28 ve 90 günlük kür periyodlarının sonunda ASTM C109 (2016) 'a göre 6 karışımın her birinden üretilen 40x40x160 mm<sup>3</sup> boyutundaki prizmatik numuneler için basınç ve eğilme dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta, eğilme dayanımı deneyi yapılmıştır. Daha sonra ikiye ayrılan numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Basınç dayanımı deney cihazının kapasitesi 250 kN iken eğilme dayanımı cihazının kapasitesi 150 kN'dir.

### Porozite, su emme ve yoğunluk deneyleri

Porozite, su emme ve yoğunluk deneyleri 28 günlük kür süresinin sonunda ASTM C642 (2013) 'ye göre yapılmıştır. Su emme, porozite ve yoğunluk deneyleri için 5 mm boyutundaki küpler su altında ve doymuş yüzeyde kuru halde tartılmıştır. Her bir numune daha sonra bir fırında 105 C'de sabit bir ağırlığa ulaşana kadar kurutulmuştur. Su numunesi hacminin yüzdesi olarak ifade edilen porozitenin hesaplanması için suyla doyurulmuş ve fırında kuru koşullar arasındaki ağırlık farkı kullanılmıştır. Üç numunenin ortalaması alınarak Porozite, su emme ve yoğunluk değerleri belirlenmiştir (Şekil 2).



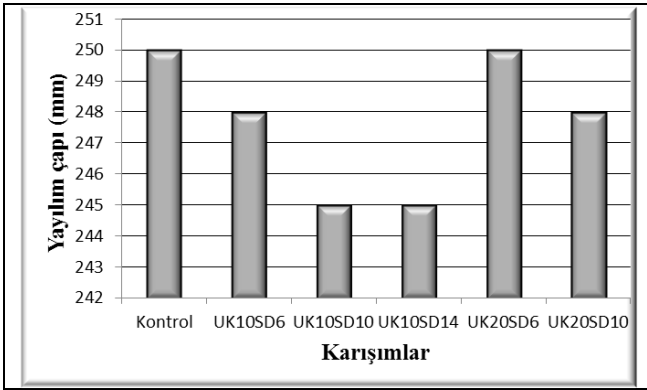
Şekil 2. a) Fırında bulunan örnekler  
b) Desikatördeki örnekler c) 24 saat sonra suda bekletilmiş örnekler (Benli ve Karatas, 2017)

## Sonuçlar ve tartışma

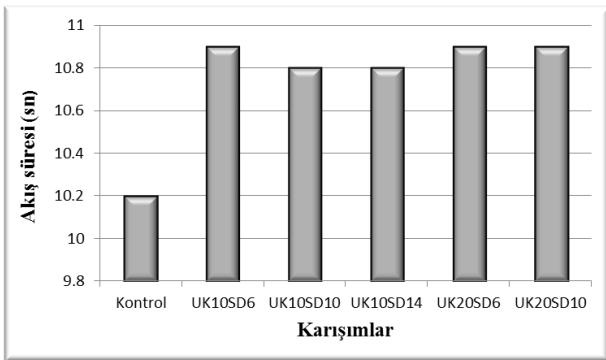
### Taze harç özellikleri

Mini slump deneyi ve mini V hunisi deneyi sonuçları sırası ile Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Görüleceği üzere elde edilen tüm veriler EFNARC tarafından önerilen sınırlar arasında kalmıştır. Şekil 3'de görüldüğü üzere en yüksek yayılma değeri kontrol ve UK20SD6 karışımlarından elde edilmiştir. Yüksek oranda silis dumanı ile ikame edilen karışımların yayılma çaplarının daha düşük olduğu söylenebilir. Bunun nedeni olarak silis dumanının çok ince taneli olmasından ötürü katı taneciklerin birbirine temas ederek işlenebilirliği azaltması gösterilebilir. Mineral katkı ikamesi ile birlikte UK20SD6 karışımı hariç diğer karışımların yayılma çapları kontrol karışımına göre düşmüştür. UK20SD6 karışımında düşmemesi, %20 oranında ikame edilen uçucu külün kendiliğinden yerleşen harçların işlenebilirliğine olumsuz etkisi bulunmadığı, aksine SD6 karışımına rağmen kontrol karışımında elde edilen yayılma çapına ulaşarak işlenebilirliği iyileştirdiği söylenebilir. Şekil 3 incelendiği zaman mineral katkıların akış süresini olumsuz etkilediği görülmektedir. Bu olumsuz etkiye rağmen tüm değerler EFNARC sınırları arasında kalmıştır. Kontrol

karışımı hariç diğer tüm karışımların akış süresi birbirlerine yakın değerlerdedir.



Şekil 3.KYH numunelerin yayılım çapı



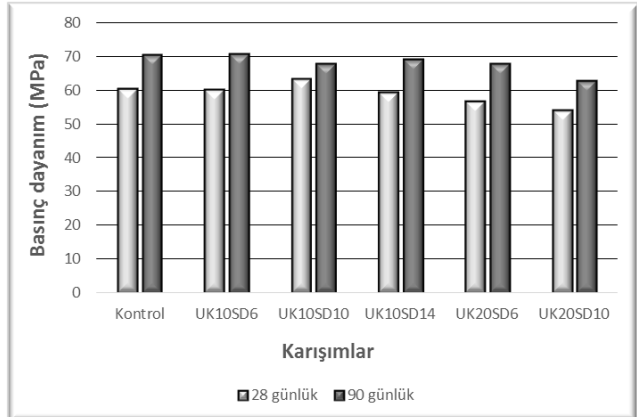
Şekil 4.KYH numunelerin akış hızı

## Sertleşmiş harç özellikleri

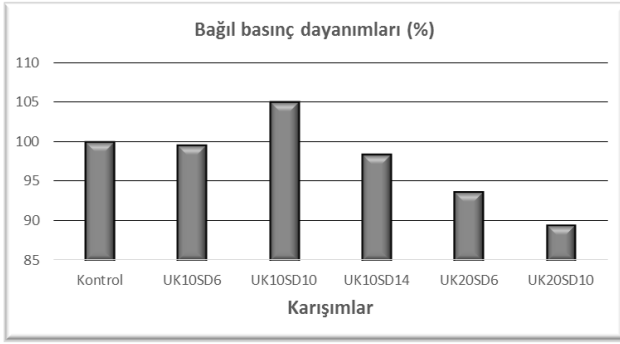
### Basınç dayanımı

Hazırlanan numuneler 28 ve 90 günlük kür süresinden sonra tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir. 28 günlük bağıl dayanım sonuçları ise Şekil 6'de gösterilmiştir. 28 günlük basınç dayanımları incelendiği zaman yalnızca UK10SD10 karışımının basınç dayanımında kontrol karışımına kıyasla %5 oranında artış gözlenmiştir. UK10SD6, UK10SD14, K20SD6, UK20SD10 karışımlarının basınç dayanımları kontrol karışımına kıyasla %0.39, %1.59, %6.27, %10.5 oranlarında azalmıştır. Basınç dayanımındaki azalma oranının en yüksek UK20SD10 karışımında olması mineral katkı oranının belli bir orandan fazla olması durumunda

mekanik özelliklerini önemli bir şekilde düşüreceğine işaret etmektedir. 90 günlük basınç dayanımlarına bakılacak olursa, tüm karışımların dayanımlarında önemli artışlar görülmüştür. Artış oranının en fazla olduğu karışım %19.9 ile UK20SD6 karışımından elde edilmiştir. UK10SD10 karışımı ise %6.8 ile dayanım artışının en az olduğu karışım olmuştur. Bu durum, silis dumanının daha büyük bir puzolanik reaksiyona ve mikro-dolgu etkisine sahip olduğu açıklanabilir (Benli and Karatas, 2017). Dolgu etkisi ve silis dumanının puzolanik reaksiyonu daha yoğun bir mikro yapıya ve dolayısıyla basınç mukavemetinde artışa neden olmuştur. Buna ek olarak, SD ikamesi 10% olduğu üçlü karışım en iyi basınç ve eğilme dayanımı göstermiştir. UK ve SD oranı arttıkça basınç ve eğilme dayanımı düşmektedir. Çünkü SD daha küçük parçacık boyutu ve daha yüksek spesifik yüzey alanı, UK den daha fazla puzolanik reaksiyona neden olmaktadır (Aprianti vd., 2016, Wongkeo vd., 2014).



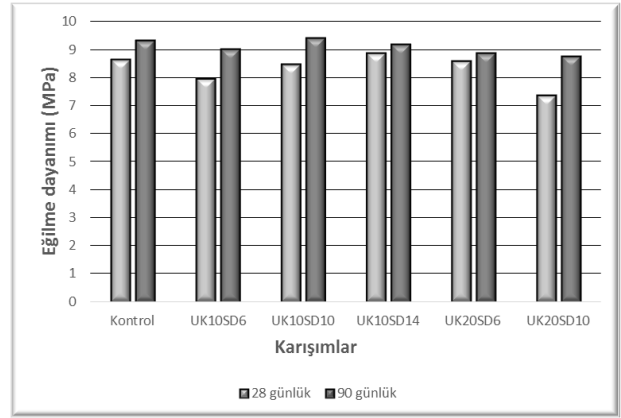
Şekil 5.KYH numunelerin 28 be 90 günlük basınç dayanımı



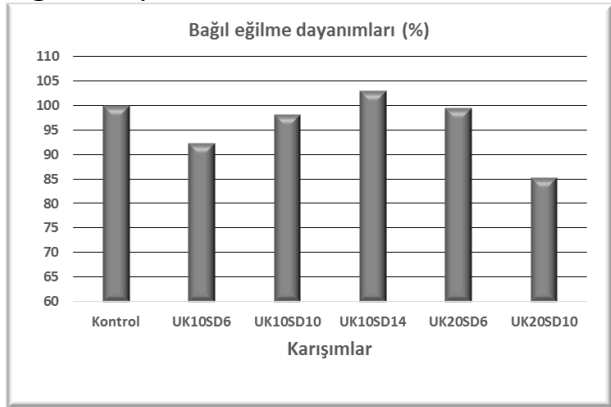
Şekil 6. KYH numunelerin bağıl basınç dayanımları

### Eğilme Dayanımı

28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 7'de gösterilirken, bağıl eğilme dayanımları Şekil 8'de belirtilmiştir. Kontrol, UK10SD6, UK10SD10, UK10SD14, UK20SD6, UK20SD10 karışımlarının 28 gün sonunda eğilme dayanımları sırası ile 8.6, 7.9, 8.5, 8.9, 8.6, 7.5 MPa olmuştur. UK10SD6 ve UK20SD10 karışımlarının 28 gün sonunda dayanım değerleri kontrol karışımına kıyasla sırasıyla %7.7 ve %14.8 düşük olmuştur. En yüksek dayanım UK10SD14 karışımından elde edilirken dayanım değeri kontrol karışımına kıyasla %2.9 fazla olmuştur. 90 günlük kür süresinin sonunda eğilme dayanımları incelendiğinde kontrol, UK10SD6, UK10SD10, UK10SD14, UK20SD6 ve UK20SD10 karışımlarının dayanımları 90 günün sonunda sırasıyla %8.1, %13.3, %11.1, %3.3, %3.5 ve %18.9 olmuştur. UK10SD14 ve UK20SD6 karışımları hariç diğer karışımların dayanımlarında önemli bir artış olduğu görülmüştür. Uzun süreli kür şartlarında optimum karışımın UK10SD10 olduğu söylenebilir.



Şekil 7. KYH numunelerin 28 be 90 günlük eğilme dayanımı

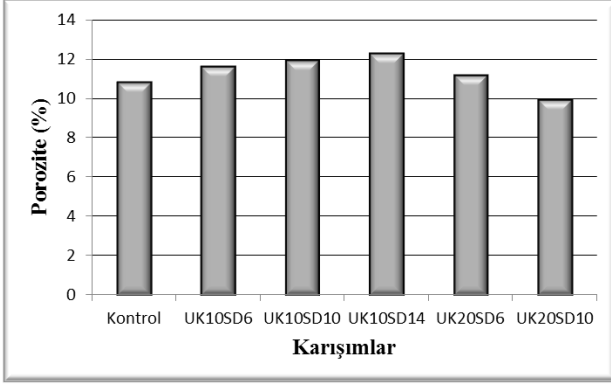


Şekil 8. KYH numunelerin bağıl eğilme dayanımı

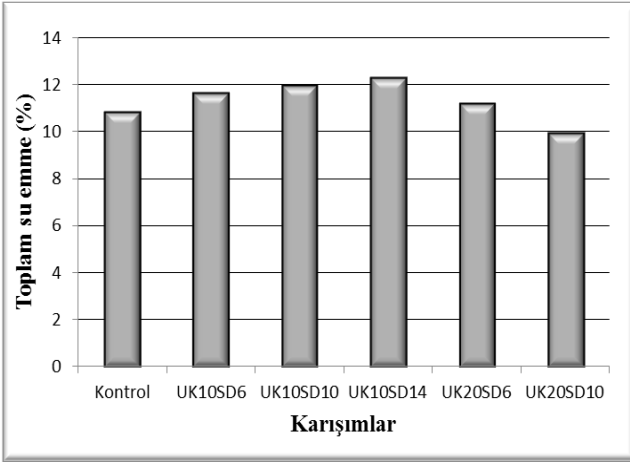
### Porozite ve yoğunluk

28 günlük kür süresi sonunda su emme ve porozite sonuçları Şekil 9 ve Şekil 10'de, yoğunluk sonuçları ise Şekil 11'de verilmiştir. Su emme yüzdesinin en düşük olduğu karışım %9.95 ile mineral katkı oranının en yüksek olduğu UK20SD10 karışımı olmuştur. Kontrol, UK10SD6, UK10SD10, UK10SD14, UK20SD6 karışımlarının su emme yüzdeleri sırası ile %10.85, %11.64, %11.97, %12.31, %11.21 olarak elde edilmiştir. Porozite sonuçları da su emme yüzdeleri ile doğru orantılıdır. Kontrol, UK10SD6, UK10SD10, UK10SD14, UK20SD6 ve UK20SD10 karışımları için sırası ile %22.87, %23.3, %23.8, %24.3, %22.73 ve %20.74'dür. Uçucu külün %10 olarak kullanıldığı karışımlarda silis dumanı oranının arttıkça su emme ve porozite değerlerinin arttığı

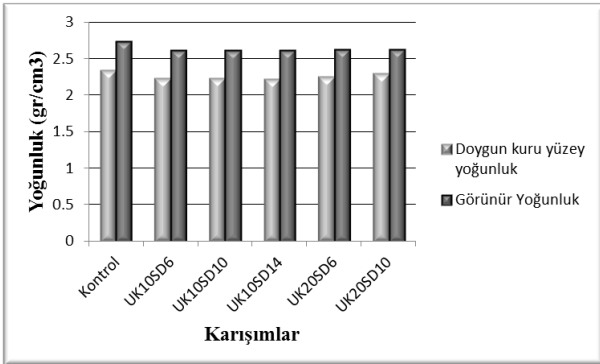
görülmektedir. Bunun nedeni silis dumanının çok ince taneli olmasından ötürü yüzey alanının fazla olmasıdır. Yoğunluklar incelendiği zaman mineral katkı ikamesi ile birlikte doymun kuru yüzey yoğunluk ve görünür yoğunluğun azaldığı görülmektedir. Yoğunluğun en düşük olduğu karışım UK10SD14 karışımıdır.



Şekil 9.KYH numunelerin porozite değerleri



Şekil 10.KYH numunelerin su emme değerleri



Şekil 11.KYH numunelerin yoğunluk değerleri

## Sonuçlar

Bu makale, uçucu kül ve silis dumanının üçlü karışımlarından üretilen KYH'ların mekanik ve durabilite özelliklerini belirlemek için deneysel bir çalışma sunmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara dayanarak aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir;

- İncelenen tüm harç karışımları kendiliğinden yerleşen özelliğini sağlaması bakımından tatmin edicidir. Ayrıca uçucu kül kendiliğinden yerleşen özelliğini sağlaması bakımından silis dumanından daha avantajlıdır.
- Mineral katkılarının kullanıldığı KYH numunelerinde dayanımlarında artışlar olmuştur. Eğilme dayanım sonuçlarının yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Ancak basınç sonuçlarında silis dumanı ve uçucu kül miktarları arttıkça değerler artmıştır. Buna rağmen artış değerleri kontrol değerlerini geçememiştir.
- Maruz kalınan kür süresinin artmasıyla basınç dayanımı önemli oranda artmıştır. 90 günün sonunda basınç dayanımı UK10SD6 karışımında en yüksek dayanım olan 70.7 MPa dayanımına ulaşmıştır. Eğilme dayanımı için ise bu değer 8.9 MPa ile UK0SD14 karışımından elde edilmiştir.
- Su emme yüzdesinin en düşük olduğu karışım UK20SD10 karışım iken, en düşük yoğunluk UK20SD14 karışımlarından alınan numunelerden elde edilmiştir.
- Silis dumanının içeriğindeki artış, basınç dayanımında artışa neden olurken uçucu kül içeriğindeki artış dayanımı ters yönde etkilemiştir.

## Kaynaklar

- Aprianti, E., Shafiqh, P., Zawawi, R., Abu Hassan, Z. F., (2016). Introducing an effective curing method for mortar containing high volume cementitious materials. *Constr Build Mater*, 107, 365-377.
- ASTM C109 / C109M - 16a,(2016). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars.
- ASTM C642 – 13,(2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete
- Benli, A., Karatas, M., ( 2017). Durability and Strength Properties Self-Compacting Mortars with High-Calcium Fly Ash and Silica Fume. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(2), 647-657.
- Benli, A., Karatas, M., Bakir, Y., (2017). "An experimental study of different curing regimes on the mechanical properties and sorptivity of self-compacting mortars with fly ash and silica fume." *Construction and Building Materials*, 144, 552-562.
- Chen, X., Wu, S., Zhou, J., (2013). Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar. *Constr Build Mater*, 40, 869-874.
- Domone, P. L. J., Jin, J., (1999). Properties of mortar for self-compacting concrete. *Rilem Proc*, 7, 109-120.
- EFNARC (2005). (European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems). The European guidelines for selfcompacting concrete: Specification, production and use, U.K.
- Ghrici, M., Kenai, S., Said-Mansour, M., (2007). Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements. *Cement and Concrete Composites*, 29(7), 542-549.
- Karatas, M., Benli, A., Ergin, A., (2017). Influence of ground pumice powder on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars. *Constr Build Mater*, 150, 467-479.
- Leung, H. Y., Kim, J., Nadeem, A., Jaganathan, J., Anwar, M. P., (2016). Sorptivity of self-compacting concrete containing fly ash and silica fume. *Construction and Building Materials*, 113, 369-375.
- Li, L. G., Ng, P.-L., Huang, Z.-H., Zhu, J., Kwan, A. K.-H., (2017). Effects of Micro-silica and Nano-silica on Fresh Properties of Mortar. *Materials Science*, 23(4).
- Mardani-Aghabaglou, A., İnan Sezer, G., Ramyar, K., (2014)., Comparison of fly ash, silica fume and metakaolin from mechanical properties and durability performance of mortar mixtures view point. *Constr Build Mater*, 70, 17-25.
- Mohamed, O. A., Najm, O. F., (2017). Compressive strength and stability of sustainable self-consolidating concrete containing fly ash, silica fume, and GGBS. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 11(4), 406-411.
- Poon, C. S., Wong, Y. L., Lam, L., (1997). The influence of different curing conditions on the pore structure and related properties of fly-ash cement pastes and mortars. *Construction and Building Materials*, 11(7-8), 383-393.
- Rao, S., Silva, P., de Brito, J., (2015). "Experimental study of the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with nano materials (SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>)." *Constr Build Mater*, 96, 508-517.
- Sabet, F. A., Libre, N. A., Shekarchi, M., (2013). Mechanical and durability properties of self consolidating high performance concrete incorporating natural zeolite, silica fume and fly ash. *Constr Build Mater*, 44, 175-184.
- Sadrmomtazi, A., Tahmouresi, B., Saradar, A., (2018). Effects of silica fume on mechanical strength and microstructure of basalt fiber reinforced cementitious composites (BFRCC). *Constr Build Mater*, 162, 321-333.
- Sahmaran, M., Christianto, H. A., Yaman, I. O., (2006). The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. *Cement Concrete Comp*, 28(5), 432-440.
- Siddique, R., (2013). Compressive strength, water absorption, sorptivity, abrasion resistance and permeability of self-compacting concrete containing coal bottom ash. *Construction and Building Materials*, 47, 1444-1450.
- Sonebi, M., (2004). Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans. *Cement and Concrete Research*, 34(7), 1199-1208.
- Wang, D., Shi, C., Wu, Z., Wu, L., Xiang, S., Pan, X., (2016). Effects of nanomaterials on hardening of cement-silica fume-fly ash-based ultra-high-strength concrete. *Advances in Cement Research*, 28(9), 555-566.
- Wongkeo, W., Chaipanich, A., (2010). Compressive strength, microstructure and thermal analysis of autoclaved and air cured structural lightweight concrete made with coal bottom ash and silica

- fume. *Mat Sci Eng a-Struct*, 527(16-17), 3676-3684.
- Wongkeo, W., Thongsanitgarn, P., Chaipanich, A., (2012). Compressive Strength of Binary and Ternary Blended Cement Mortars Containing Fly Ash and Silica Fume Under Autoclaved Curing. *Materials for Environmental Protection and Energy Application, Pts 1 and 2*, 343-344, 316-321.
- Wongkeo, W., Thongsanitgarn, P., Ngamjarrojana, A., Chaipanich, A. (2014). Compressive strength and chloride resistance of self-compacting concrete containing high level fly ash and silica fume. *Materials & Design*, 64, 261-269.
- Yahia, A., Tanimura, M., Shimabukuro, A., Shimoyama, Y., (1999). Effect of rheological parameters on self-compactability of concrete containing various mineral admixtures. *Rilem Proc*, 7, 523-535.
- Zhao, Z. G., Qu, X. L., Li, F. X., Wei, J. X., (2018). Effects of steel slag and silica fume additions on compressive strength and thermal properties of lime-fly ash pastes. *Construction and Building Materials*, 183, 439-450.

## Durability and strength properties of self-compacting mortars produced from ternary mixtures of fly ash and silica fume

### Extended abstract

In this study, we aimed to investigate the strength and durability properties of self-compacting mortars (SCMs) produced from class C fly ash (FA) and silica fume (SF). SCMs were manufactured from the ternary mixtures of SF, FA and portland cement (PC). In total, six mixtures were produced including control mix which contains 100% PC. The other five mixtures were the combinations of SF, FA and PC which was substituted by FA and SF at the dosages of 6%, 10% and 14% SF with 10% FA and 6%, 10% SF with 20% FA. The ratio of water/binder ( $w/b$ ) was kept between 0.39 and 0.44. Mechanical properties including compressive and flexural strength and durability properties including porosity, total water absorption and density of these SCMs samples were investigated. To assess the fresh properties of SCMs containing SF and FA, slump and V-funnel test were performed. In order to examine the compressive and flexural tensile strength, 40x40x160 mm samples were cured in water and tested for 28 and 90 days. In order to examine the durability characteristics, 50 mm cube samples were produced and cured in water for 28 days, total water absorption, porosity and density values were found. The results of this experimental work reveal that ternary mix of FA10SF6 showed the best compressive and flexural tensile strength. Slump diameter and V-funnel flow time were maintained in the range of 240-260 mm and 7-11 s as recommended by EFNARC committee. The largest slump diameters were seen in the control samples and FA20SF6. This is due to the fact that the silica fume is very fine-grained, so that the solid particles can come into contact with each other and reduce the flowability. With the addition of mineral admixture, the slump diameters of the other mixtures except the FA20SF6 mixture decreased compared to the control mixture. It can be said that 20% of the fly ash does not have a negative effect on the flowability of self-compacting mortars. In addition, the compressive and flexural strength of SCMs containing 10% replacement of SF has shown the best performance. As the replacement ratio of SF and FA increases, the compressive and flexural strength values were reduced. This is because SF has very

fine size and very high specific surface results in more pozzolanic activity than that of FA.

Flexural strength of control samples, FA10SF6, FA10SF10, FA10SF14, FA10SF6 and FA20SF10 samples at the end of 28 days curing period were 8.6, 7.9, 8.5, 8.9, 8.6, 7.5 MPa respectively. The flexural strength of FA10SF6 and FA20SF10 samples at the end of 28 days curing period were reduced %7.7 and %14.8 respectively. The lowest percentage of water absorption was the mixture of FA20SF10 with the highest mineral additive ratio of 9.95%. The water absorption percentages of the blends of FA10SF6, FA10SF10, FA10SF14, FA20SF6 were 10.85%, 11.64%, 11.97%, 12.31%, 11.21%, respectively. The porosity results are also directly proportional to the water absorption percentages. The control was 22.87%, 23.3%, 23.8%, 24.3%, 22.73% and 20.74% for the mixtures of FA10SF6, FA10SF10, FA10SF14, FA20SF6 and FA20SF10, respectively. As the ratio of silica fume increases in the mixture where fly ash is used as 10%, the water absorption and porosity values increase. This is because silica fume is very fine-grained because of the high surface area. When the densities are examined, it is observed that the saturated dry surface density and apparent density decrease with the mineral additive substitution. The mixture with the lowest density is a mixture of FA10SF14. The compressive strength increased significantly with the increase of the curing time. At the end of 90 days, the compressive strength of the FA10SF6 mixture was 70.7 MPa, the highest compressive strength. This value was obtained from 8.9 MPa and FA10SF14 mixture for flexural strength. All the mortar mixtures examined are satisfactory in terms of their self-compacting properties. In addition, fly ash is more advantageous than silica fumes in order to provide self-compacting property.

**Keywords:** Self-compacting mortar, fly ash; silica fume, fresh properties, strength properties, durability



## Kazık Gruplarında Eksenel Yük Dağılımının Bulunması için Yeni bir Yöntem

**Murat HAMDERİ\***

*Türk-Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul*

[hamderi@tau.edu.tr](mailto:hamderi@tau.edu.tr) ORCID: 0000-0002-9167-8866, Tel: (216) 332 31 22

Geliş: 30.10.2018, Kabul Tarihi: 28.12.2018

### Öz

*Literatürde grup kazıklarının eksenel yük dağılımını hesaplayan analitik bir yöntem mevcut değildir. İleri derecede hiperstatik olan bu sistemlerin çözümü bazı nümerik yaklaşımlarla yapılabilmektedir. Uygulamada ise genellikle kazık yükleri eşit alınır ya da kazık yükleri üst yapı modeline eşdeğer yaylar yerleştirilerek hesaplanır. Bu hesaplar radye-zemin teması ile aktarılan kuvveti göz önüne almadıklarından kaba bir yaklaşım sağlarlar. Son zamanlarda kazıklı radye sistemler için zeminin de içinde tanımlanabildiği 3-boyutlu nümerik çözümler kritik projelerde kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler sıradan projeler için pahalı olmakta ve uzun sürmektedir. Bu pahalı ve uzun süren yaklaşıma alternatif olarak, bu çalışma kapsamında, 3-boyutlu sonlu elemanlar tabanlı bir kazıklı radye temel yük dağılımı formülü tanıtılmış ve formül bir vaka çalışmasına uygulanmıştır. Formül, kazık çapını, boyunu, sıklığını, yanıl ve uç direncini; radye kalınlığını, yayılı yükü ve 5 adet zemin tabakasının zemin modülünü bünyesine almaktadır. Ayrıca, bu formül sayesinde radye-zemin teması ile aktarılan yük de hesaplanabilmektedir. Bu sayede kazıklara gelen yüklerin en az yüzde 20 oranında daha az çıkacağı tahmin edilmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Kazıklı radye temel, TNO DIANA, eksenel yük, kuvvet, grup etkisi, kazık grupları

\* Yazışmaların yapılacağı yazar



## Giriş

Büyük şehirlerde yüksek katlı binaların zayıf zeminler üzerine inşasındaki artış nedeniyle, kazıklı-radye temellerin daha ekonomik boyutlandırılması gereği ortaya çıkmıştır. Kazıklı-radye temellerin boyutlandırılması için öncelikle geoteknik mühendisi tarafından tek bir kazığın emniyetle taşıyacağı yük bulunur. Burada kullanılan emniyet katsayısı oldukça yüksek olup 2 ile 3 civarındadır. Üst yapı tasarımcısı emniyetli kazık yükünü tasarımda değişik şekillerde kullanabilir. Eğer yapı görece küçük ise, kazıklara gelen yüklerin eşit dağıldığı kabulü ile kazık başına düşen ortalama yük emniyetli yük ile karşılaştırılır. Daha kritik yapılarda ise, üst yapı modelinde, temel kolonlarının altlarına kazıkları temsil eden yaylar yerleştirilerek, bu yaylardan elde edilen yükler, emniyetli taşıma yükü ile karşılaştırılır ve sonuca varılır. Kolonların altlarına kazıklar yerleştirildiğinden, kazık yerleşimi kolonların yerleşimine genelde çok benzer olmaktadır. Öte yandan, son zamanlarda zemin ile yapının aynı anda modellenmesi ile, kazık yüklerinin kenar kazıklarda yoğunlaştığı ortaya çıkmıştır (Bu durum ayrıntılı olarak açıklanacaktır.). Kazık dağılımı ile ilgili olarak az da olsa literatürde laboratuvar ve saha çalışmaları mevcuttur. Whitaker, 1957 yeniden teşkil edilmiş kil zemin üzerinde yaptığı laboratuvar deneyinde, kazık yüklerinin ortadan kenara doğru giderek arttığını bulmuştur. Sanctis ve Russo, 2008 dairesel tankların kenar kazıklarında yük artışları tespit etmiştir. Katzenbach vd., 2000 Frankfurt'taki Messe-Torhaus binasının altındaki kazıklarda ölçülen köşe kazık yükünün ortadaki kazığın yüküne oranının 3,5 olduğunu bildirmektedir. Mandolini vd., 2005 killi-silt ve kum tabakalarına oturan Garigliano Köprüsünün kazıklarında köşe/orta kazık yük oranını 1,6 olarak vermiştir. Aynı şekilde Shulyat'ev ve Kharichkin, 2009 nehir kenarında alüvyon bir zemine oturan bir binanın temelinde köşe/orta kazık yükü oranını 2,4 olarak vermektedir. Guoliang, vd., 2012 ise siltli-kil ve kum tabakalarında oluşan bir zemin üzerinde 9 kazıklı

yükleme deneyi gerçekleştirmiş ve kenar kazık yüklerinin ortadakinden daha büyük olduğunu bildirmiştir.

Literatürde kazıkların yük dağılımını hesaplayan numerik metotlar bulunmaktadır (Poulos ve Matte 1971, Chow vd., 2001, Small ve Zhang, 2002, Zhu vd., 2017, Ukritchon vd., 2016). Bu metotların icra edilmesi için kodlama gereklidir. Birçok metot araştırma düzeyinde kalmış ve bunlar için kullanıcı dostu ara yüz yazılımı geliştirilmemiştir. Dolayısı ile kritik projelerde, mühendisler kazık yük dağılımını bulmak için maliyetli ve uzun süren sonlu elemanlar yazılımlarına yönelmektedirler. Öte yandan, sonlu elemanlar programında modellenen 120 adet nümerik deneyi kullanarak elde edilmiş, grup kazıkların oturmasını ve yük dağılımlarını veren 2 formül yakın zamanda literatüre geçmiştir (Hamderi, 2018a., 2018b., 2019). Bu formüllerin verdiği sonuçların, sonlu elemanlar programının verdiği sonuçlara yakınlığını gösteren  $R^2$  değeri, 0,98 den daha büyüktür ( $R^2=1$ , mükemmel uyum). Bu çalışma kapsamında öncelikle kazıklı radye temellerde kenar kazıkların neden daha fazla yük aldıkları bir örnekle anlatılacak ve daha sonra Hamderi, 2019 tarafından önerilen kazık yük dağılımı formülü bir vaka çalışmasına uygulanacaktır.

## Materyal ve Yöntem

### Kazıklı Radyelerde Yük Dağılımı

Bu bölümde döşeme, kolonlar ve kazıklardan oluşan bir katlı yapıda, kuvvet iletimi esasları MIDAS GTS NX sonlu elemanlar programında modellenecektir. Yapının 1. katındaki 0,3 m kalınlığındaki döşemeye 300 kPa büyüklüğünde yayılı yük etkimekte, bu döşeme de 49 adet kare şeklindeki kolonla desteklenmektedir (Şekil 1). Kolonların alt uçları 1 m kalınlığındaki radyeye bağlanmakta ve radye de 1 m kalınlığındaki kazık başlığına oturmaktadır. Son olarak 49 adet 25 m uzunluğundaki kazık binayı zemine bağlamaktadır. Kazıkların arasındaki zemin tam manası ile kazık başlığı ile temas içindedir. Zemin Mohr-Coulomb zemin modeli ile temsil edilmektedir. Kullanılan zeminin içsel sürtünme

açısı  $36^\circ$  ve kohezyonu ise 5 kPa'dır. Zeminin elastisite modülü ise 25 MPa'dır. Bu sistemde oturma 0.081 m olarak bulunmuştur. Detaylar Şekil 1'de verilmektedir.

Şekil 1'de anlatılan sistemde, kazıklar zeminin içine gömülü 25 m uzunluğunda kirişler olarak modellenmiştir. Şekil 2'deki modelde ise zemin çıkarılarak gömülü kirişlerin yerlerine kare kesitli 1 m x 1 m x 1 m boyutlarında kirişler yerleştirilmiştir. Kirişler alt tabanından düşey ve yatayda sınırlıdır. 1 m x 1 m x 1 m boyutlarındaki kirişler bir çeşit yay olarak görev yapmaktadır. Yaylar ile desteklenen sistemin, yukarıda kazıklar ile desteklenen sistemde bulunan oturmayı yakalaması için, yapıldıkları elastik malzemeye,  $\text{kN/m}^2$  boyutunda uygun bir elastisite modülü ( $E_s$ ) atanmalıdır. Bu değer aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$E_s = \frac{\text{Toplam Yük (kN)}}{\text{yay sayısı} \times \text{yay enkesit alanı (m}^2\text{)} \times \frac{1. \text{Sistemin Oturması (m)}}{\text{yayın boyu (m)}} \quad (1)$$

1. sistemde bulunan oturma 0.081 m olduğuna göre

$$E_s = \frac{300 \text{ kPa} \times 20 \text{ m} \times 20 \text{ m}}{49 \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}} \times \frac{1 \text{ m}}{0.081 \text{ m}} = 30234 \text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

olarak bulunur. Uygulamada kullanılan zemin yatak katsayısı ise,  $E_s$  değeri yay uzunluğuna bölünerek bulunabilir:

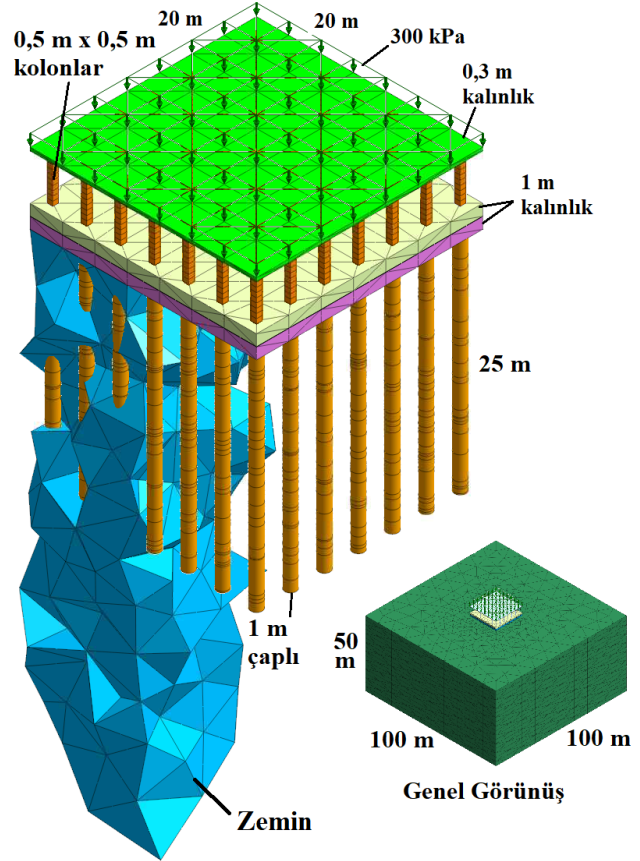
$$\text{Zemin Yatak Kat.} = \frac{30234 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{1 \text{ m}} = 30234 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad (3)$$

Bu değer üst yapı tasarımcılarının geoteknik mühendislerinden yay sabiti olarak kullanmak üzere talep ettiği değerdir.

### Yük Dağılımlarının Karşılaştırılması

Kazıkların zeminin içine giren kirişlerle modellendiği sistemde, kolonların üzerine gelen yükler Şekil 3a.'da gösterilmiştir. Buna göre 2622 kN'luk bir yük merkez kolonda ve 1754 kN'luk daha küçük bir yük ise köşe kolonda oluşmaktadır. Kenar orta kolonda oluşan yük (2147 kN) bu iki değer arasında. Şekil

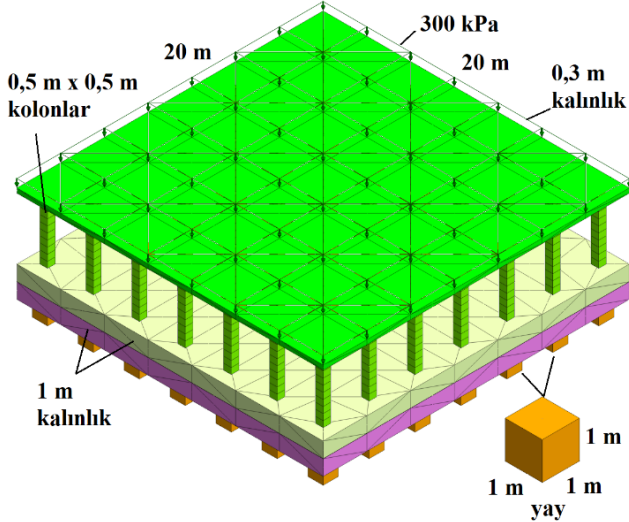
3b.'de ise yaylı sistemdeki kolon yükleri gösterilmiştir. Burada bulunan yükler kazıklı sistemdekilere çok yakın çıkmışlardır. Buradan, bir yapının, zeminin içine giren kirişlerle (kazıklı sistem) ya da eşdeğer yaylarla (yaylı sistem) modellenmesinin, üst yapı kolonlarındaki yük dağılımını etkilemediği söylenebilir.



Şekil 1. Döşeme, kolonlar ve kazıklar arasındaki kuvvet iletim esaslarını inceleyen sonlu elemanlar modelinin detayları

Kazıklı sistemde oluşan kazık yükleri Şekil 3c'de gösterilmiştir. Buna göre en büyük kazık yükü (5246 kN) köşede ve en küçük kazık yükü (1201 kN) ise merkez kazıkta oluşmaktadır. Kenar orta kazıkta oluşan yük (3161 kN) bu iki değer arasında. Şekil 3d.'de ise yaylı sistemdeki kazık yükleri gösterilmiştir. Burada bulunan yay yükleri ise biri birlerine çok yakındır (2439 kN ile 2493 kN arasında). Buna göre yaylı sistemde, üniform yaylı yük dağılımı altında üniform yay yükleri çıktığından bahsedebiliriz. Kenarlarda büyük, içerlerde ise daha küçük yük oluşması durumu laboratuvar ve sahada ölçülmüş

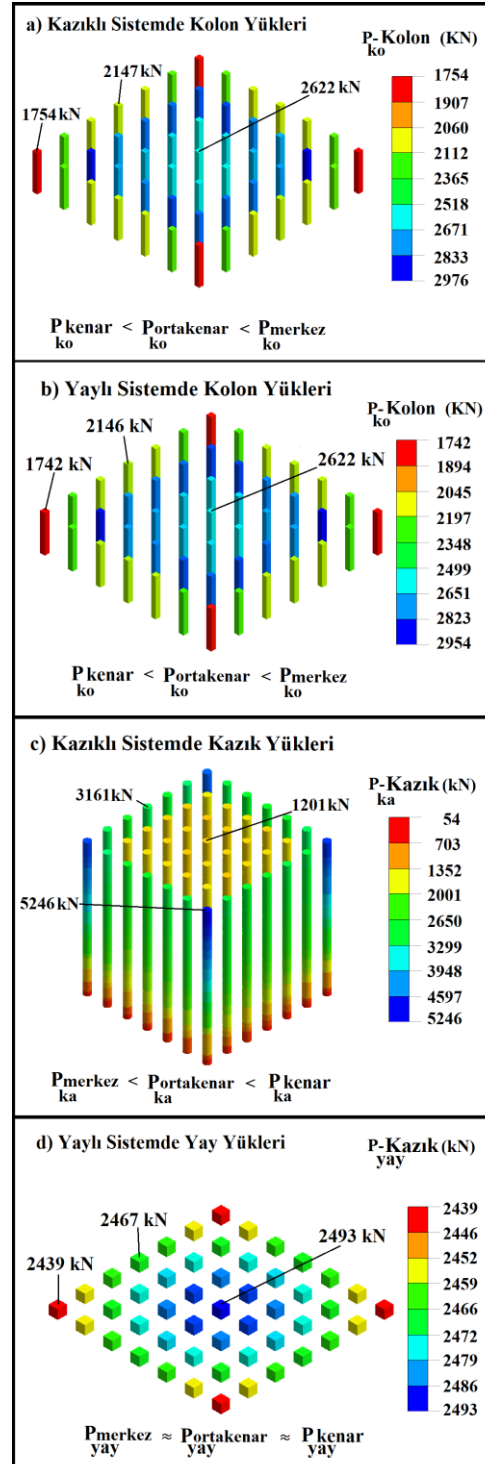
birtakım deneylere uyum göstermektedir (Whitaker, 1957, Sanctis ve Russo, 2008, Katzenbach vd., 2000, Mandolini vd., 2015, Shulyat'ev ve Kharichkin, 2009, Guoliang, vd., 2012).



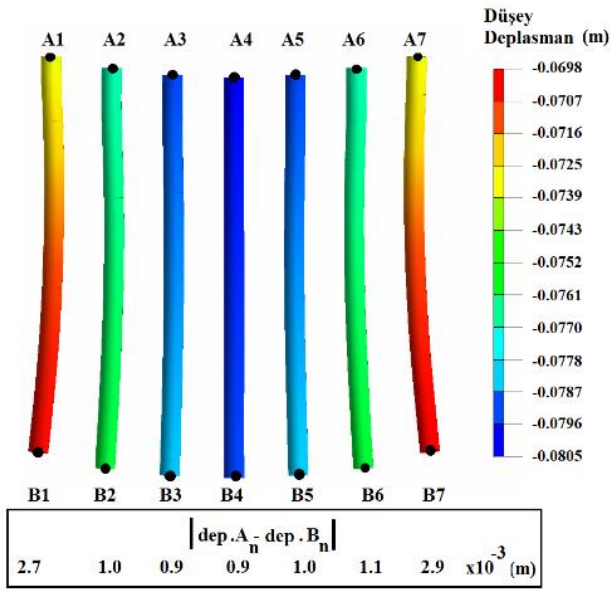
Şekil 2. Sistemin kazık-zemin yerine eşdeğer yaylarla modellenmiş hali

Öte yandan kazıklarda oluşan yük dağılımının neden kolonlardaki gibi olmadığı araştırılmalıdır. Bunun için Şekil 4'de köşegen boyunca sıralanan kazıklar incelenmelidir. Şekil 4'e göre ortadaki kazık ortalama 0.081 m kenardaki kazık ise ortalama 0.075 m düşey yer değiştirmektedir. Kazıkların üzerinde oluşan basınç kuvvetinin, kazığın iki ucu arasındaki bağıl yer değiştirmenin artması ile artacağını Hooke yasasını kullanarak kolaylıkla söyleyebiliriz. Bağıl yer değiştirmeler incelendiğinde köşedeki kazığın 2,7 mm, ortadaki kazığın ise 0.9 mm bağıl yer değiştirdiği ortaya çıkar. Köşe kazıkta bağıl yer değiştirme fazla olduğundan fazla yük almakta, orta kazık ise daha az bağıl yer değiştirme yaptığından daha az yük almaktadır. Bir diğer deyişle kenar kazıkların alt uçları ortalara göre zeminde daha az ilerledikleri ve üst uçları da rijit radye nedeniyle ortadaki kazıkların üst uçlarına göre yaklaşık aynı miktarda hareket ettiği için (zemin kil olsun kum olsun fark etmez) kenar kazıklar sıkışmakta ve dolayısı ile üzerlerine daha büyük yük almaktadırlar. Kenar kazıklarda daha fazla kuvvet oluşması radyenin rijitliği ile doğrudan alakalıdır. Üniform olmayan yük dağılımının

dengelemesi için Messeturm kulesinde kazıkların boyları dışarıdan içeriye doğru artmaktadır (Katzenbach vd., 2000, Kumar vd., 2016).



Şekil 3. Sistemlerin aksel yük karşılaştırması: a) kazıklı sistem-kolonlar, b) yaylı sistem-kolonlar, c) kazıklı sistem-kazıklar, d) yaylı sistem-yaylar

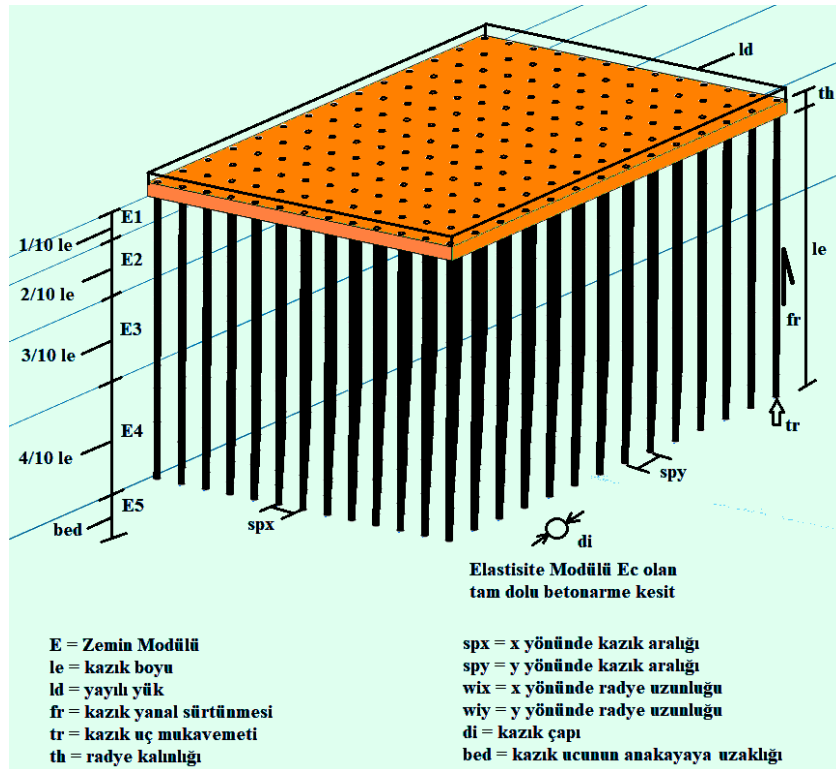


Şekil 4. Köşegen boyunca sıralanan kazıkların total ve bağıl yer değiştirmeleri

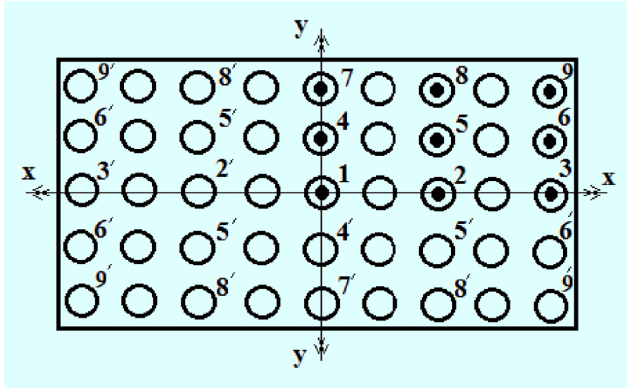
### Kazıklı Radye Temel Yük Dağılımı Formülü

Hamderi (2019) tarafından önerilen kazıklı radye

temel yük dağılımı formülü, dikdörtgen şeklindeki radyenin eninin ve boyunun ( $w_x$ ,  $w_y$ ), kalınlığının ( $th$ ); kazıkların çaplarının ( $di$ ), boylarının ( $le$ ), aralıklarının ( $spx$ ,  $spy$ ); radyeye etkiyen üniform yayılı yükün ( $ld$ ); 5 adet zemin tabakasının zemin modülünün ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$ ,  $E_5$ ), en büyük kazık yanal direncinin ( $fr$ ), en büyük kazık uç direncinin ( $tr$ ) kazık yük hesabı da kullanılmasına olanak vermektedir. Bu parametrelerin analitik gösterimi Şekil 5'de verilmektedir. Dikdörtgen şeklindeki kazıklı radyede, formülün yükü hesaplayabildiği kazık lokasyonları 1'den 9'a kadar numaralanarak Şekil 6'da verilmiştir. Sistemdeki simetriden dolayı kazık yüklerinde de simetri söz konusudur. Simetrik yüklü kazık numaralarına <> işareti eklenmiştir. Simetrik kazıklarla birlikte dikdörtgen şeklindeki bir radyenin 25 ayrı noktasında kazık yükü bulunabilir. Bu kazıklar köşeleri, kenarları ve ortaları taramaktadır. Aralarındaki diğer kazık yükleri formülle bulunanların arasında bir değerdedir.



Şekil 5. Kazıklı radye temel oturma formülünün parametrelerinin analitik gösterimi (Hamderi, 2019'den yeniden inşaa edilerek.)



Şekil 6. Kazık yük dağılımının hesaplandığı lokasyonlar (Hamderi, 2019'den yeniden inşa edilerek.)

Sözü edilen kazık formülü aşağıdaki verilmiştir (Hamderi, 2019):

$$L_n = L_{bn} \cdot \left(\frac{sp_x \cdot sp_y + u_1}{u_2}\right)^{a_n} \cdot \left(\frac{l_e + u_3}{u_4}\right)^{b_n} \cdot \left(\frac{d_i + u_5}{u_6}\right)^{c_n} \cdot \left(\frac{w_i_x \cdot w_i_y}{u_7}\right)^{d_n} \cdot \left(\frac{0.1E_1 + 0.2E_2 + 0.3E_3 + 0.4E_4 + u_8}{u_9}\right)^{e_n} \cdot \left(\frac{E_5}{u_{10}}\right)^{f_n} \cdot \left(\frac{l_d}{u_{11}}\right)^{g_n} \cdot \left(\frac{f_r}{u_{12}}\right)^{h_n} \cdot \left(\frac{t_r}{u_{13}}\right)^{i_n} \cdot \left(\frac{bed}{u_{14}}\right)^{j_n} \cdot \left(\frac{th}{u_{15}}\right)^{k_n} \cdot \left(\frac{E_c}{u_{16}}\right)^{l_n} \quad (4)$$

Burada n 0 ile 9 arasında bir indistir.  $L_1, L_2, \dots, L_9$  değerleri ise Şekil 6'de verilen kazık yükleridir. Toplam yükün kazıklar ve radye-zemin teması vasıtasıyla taşındığı farz edilirse,  $L_0$  kazıklar vasıtasıyla taşınan yükün yüzdesini verir.  $a_n, b_n, c_n, d_n, e_n, f_n, g_n, h_n, i_n, j_n, k_n$  and  $l_n$  birimsiz eşitlik katsayıları (Tablo 1),  $L_{bn}$  ise kN biriminde olup temel yük sabiti olarak adlandırılır (Tablo 2). Birimsiz eşitlik katsayıları regresyon analizi ile elde edilmektedir.  $u_1, u_2, \dots, u_{16}$  ise birimli sabitleri gösterir (Tablo 3). Formülde kullanılan parametre aralıkları Tablo 4'de verilmiştir. Bu aralıklar aynı zamanda formülün en sonuç verdiği aralık olarak da tanımlanabilir.

Tablo 1. Birimsiz eşitlik katsayıları (Hamderi, 2019)

n	$a_n$	$b_n$	$c_n$	$d_n$	$e_n$	$f_n$
0	-0.1942	0.1205	0.6728	0.0074	-0.2582	0.0688
1	1.006	0.1003	0.5915	0.1262	-0.1703	0.0834

2	1.0144	0.0767	0.5126	0.1406	-0.1972	0.1185
3	0.844	0.0907	1.1049	-0.0141	-0.3557	0.0274
4	1.0077	0.0419	0.5544	0.1244	-0.2185	0.1291
5	1.0498	0.0303	0.3481	0.1567	-0.2206	0.1495
6	0.8689	0.1016	1.0447	-0.0017	-0.3065	0.014
7	0.8478	0.0966	1.051	-0.018	-0.3285	0.0104
8	0.8541	0.0581	0.9959	0.0147	-0.271	-0.0083
9	0.7514	0.0739	1.4738	-0.1046	-0.3815	-0.0938

n	$g_n$	$h_n$	$i_n$	$j_n$	$k_n$	$l_n$
0	0.0279	0.0202	0.0108	-0.0066	0.017	0.0514
1	0.9645	0.0232	0.0162	0.0387	-0.2871	-0.0146
2	0.9768	0.0361	0.0209	-0.0395	-0.2585	-0.0355
3	0.8917	0.0333	0.0338	-0.0354	0.2121	0.1072
4	0.982	0.0116	0.0118	-0.0697	-0.2567	-0.0238
5	0.9999	0.0136	0.0321	-0.0911	-0.2156	-0.0618
6	0.9053	0.0151	0.0344	-0.0789	0.314	0.091
7	0.895	0.0209	0.0425	-0.0296	0.2363	0.1101
8	0.9204	0.0131	0.0305	-0.0586	0.3204	0.0952
9	0.9098	0.0461	0.0521	-0.0712	0.6583	0.1964

Tablo 2.  $L_{bn}$  Temel yük sabiti (Hamderi, 2019)

n	0	1	2	3	4
$L_{bn}$ [kN]	0.71	1257.55	1254.05	2007.83	1274.06

n	5	6	7	8	9
$L_{bn}$ [kN]	1370.49	1815.1	2092.62	1875.07	2510.44

Tablo 3. Birimli sabitler (Hamderi, 2019)

sabit	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$
değer	1	9	20	20
birim	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]

sabit	$u_5$	$u_6$	$u_7$	$u_8$
değer	1	1	400	10000
birim	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]
değer	10000	10000	250	500
birim	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m]

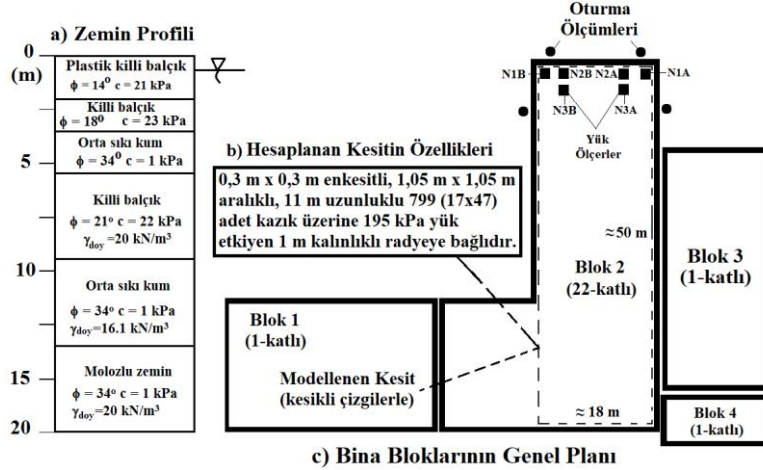
sabit	$u_{13}$	$u_{14}$	$u_{15}$	$u_{16}$
değer	1000	30	1	25000
birim	[kN]	[m]	[m]	[MPa]

**Tablo 4.** Oturma formülünün en iyi sonuç verdiği parametre aralığı (Hamderi, 2019)

No	Tanım	Sem.	Aralık	Birim
1	x yönündeki kazık aralığı	$s_{px}$	(1-5)	m
2	y yönündeki kazık aralığı	$s_{py}$	(1-5)	m
3	kazık boyu	le	(5-30)	m
4	kazık çapı	di	(0.3-1.2)	m
5	x yönündeki radye uzunluğu	$w_{ix}$	(15-50)	m
6	y yönündeki radye uzunluğu	$w_{iy}$	(15-50)	m
7	kazık elastisite modülü	$E_c$	(10-50) x $10^3$	MPa
8	Kazıkların çevresindeki zemin modülü	$E_1, E_2, E_3, E_4$	(10-600)	MPa
9	Kazıkların altındaki zemin modülü	$E_5$	(10-600)	MPa
10	Yayıllı yük	ld	(10-800)	kPa
11	Kazık yanal direnci	fr	(100-1000)	kN/m
12	Kazık uç mukavemeti	tr	(50-2000)	kN
13	Kazık ucunun ana kayaya olan uzaklığı	bed	(20-100)	m
14	Radye kalınlığı	th	(0.5-3.0)	m

### Formülün Bir Vaka Çalışmasına Uygulanması

Shulyat'ev ve Kharichkin, 2009 Moskova'nın Pavshinsk Nehri bölgesinde balçık bir zemine oturan 22 katlı bir konutun inşaatı sırasında ölçülen kazık yüklerini bildirmektedir. Kazık yükleri 2,5 sene boyunca ölçülmüştür. 22 katlı bina, birbiri yanına yapılmış 4 bloğun ikincisidir. Blok 1 30 katlı, Blok 3 ve 4 tek katlı binalardır. L-şeklindeki 22 katlı bina 1037 adet 0.3 m x 0.3 m prekast betonarme kazığa oturmaktadır. Bu çalışmada L-şeklindeki binanın 18 m x 50 m boyutlu, içinde 799 tane (17 x 47) kazık bulunan kısmındaki yük dağılımı formül yardımıyla bulunacaktır (Şekil 7). Formülün bu çalışmaya uygulanışı ise Tablo 5'de özetlenmekte ve bu uygulama adımları da aşağıda sıralanmaktadır.



Şekil 7. Ele alınan kazıklı radye sisteminin özellikleri (Shulyat'ev ve Kharichkin, 2009)

**Adım 1 (fr'nin tayini):** Referans çalışmada (Shulyat'ev ve Kharichkin, 2009), 0,3 m x 0,3 m boyutlarında prefabrik betonarme kazıkların birim boyunun taşıyacağı en büyük yanal kuvvet bildirilmemektedir. Bu değer Budhu, 2010'da prekast kazıklar için verilen ortalama değerler

kullanılarak 200 kN/m (metrede 25 ton) olarak hesaplanmıştır (Tablo 5, Kolon 1).

**Adım 2 (tr'nin tayini):** Uç kazığı olarak tasarlanmamış 0,3 m x 0,3 m boyutlarındaki kazıklar için küçük bir uç direnci girilmiştir (50 kN) (Tablo 5, Kolon 2).

**Adım 3-4 (spx ve spy'nin tayini):** Kazıkların aralıkları her iki yönde de 1,05 m'dir (Tablo 5, Kolon 3-4).

**Adım 5-6 (le ve di'nin tayini):** Kazık uzunluğu le 11 m olarak referans çalışmada verilmiştir. 0,3 m x 0,3 m boyutlarındaki kazık kesiti buna alanca eşdeğer 0.33 m çaplı daire kesiti olarak girilmiştir (Tablo 5, Kolon 5 ve 6).

**Adım 7-8 (wix ve wiy'nin tayini):** Dikdörtgen şeklindeki raydenin eni ve boyu 49,3 ve 17,8 m'dir (Tablo 5, Kolon 7 ve 8).

**Adım 9-10 (bed ve th'nin tayini):** Kazık uçlarının anakayaya olan uzaklığı (bed) bilinmemektedir. Bu değer 50 m olarak alınmıştır. Kazıkların bağlı olduğu radye temelin kalınlığı (th) 1 m'dir (Tablo 5, Kolon 9 ve 10).

**Adım 11:** Tablo 5'de kazık çevresindeki ortalama zemin modülüne yer verilmiştir. Bu değer E1, E2, E3, E4 zemin modüllerinin ağırlıklı ortalamasıdır (Tablo 5, Kolon 11).

**Adım 12-16 (E1, E2, E3, E4, E5'in tayini):**

Bu kazıkların değişik derinliklerde karşılaştıkları zeminlerin elastisite modüllerini temsil eder (Şekil 5). Shulyat'ev ve Kharichkin, 2009 bu değerlerin tespiti için kullanılabilecek herhangi bir laboratuvar veya saha deneyi sonucu bildirmemiştir. Öte yandan binanın inşası sırasında ölçülen oturma değerlerini kullanarak da zemin modülü tersten hesaplanabilir. Hamderi, 2019 bunun için bu sistemi TNO-DIANA programında 3-Boyutlu olarak modellemiş, sistemdeki oturma değerleri,

ölçülen değere gelinceye kadar zemin modülünü değiştirmiştir. Bunun sonucunda görünen oturma modülünü ortalama 55 MPa olarak bulmuştur (Tablo 5, Kolon 12-16). Ölçülen oturma değerlerinden ters hesapla elde edilen zemin modülü, balçık bir zemin için fazlaymış gibi algılanabilir. Ancak bu modül sadece 1 sene sonraki saha oturma ölçümlerine göre hesaplanmıştır. Eğer Moskova nehrinin kenarında bulunan ve konsolidasyon oturmasına tabi olan binanın 10 sene sonraki oturma değeri elimizde olsa idi, hesaplanan bu modül daha küçük çıkacak ve hesaplanan kazık yükleri de farklı bulunacaktı.

**Adım 17 (ld'nin tayini):** Referans makalede radye basıncı hariç ortalama yapı basıncı 195 kN/m<sup>2</sup> olarak verilmiştir (Kolon 17).

**Adım 18 (Ec'nin tayini):** Kazık betonunun elastisite modülü verilmemiştir. Bu değer 25 GPa olarak girilmiştir (Kolon 18).

**Adım 19 (L<sub>0</sub>):** Eşitlik 4'de verilen formülün içinde Tablo 1'de verilen n=0 katsayıları kullanılarak kazıkların yük taşıma yüzdesi L<sub>0</sub> bulunur. Vaka çalışmasında toplam yükün % 79'u kazıklarca taşınmış, geri kalan % 21'lik bölümü radye zemin arasındaki temas vasıtası ile taşınmıştır (Kolon 19).

**Adım 20-28 (L<sub>1-9</sub>):** Eşitlik 4'de verilen formülde Tablo 1'de verilen n=1,..., n=9 katsayıları kullanılarak, Şekil 6'da numaraları verilen kazıklara ait L<sub>1</sub>,..., L<sub>9</sub> yükleri bulunur (Kolon 20-28).

**Tablo 5.** Kazık Yük Dağılımı Hesabının Adımları

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
fr - En bü. yanal diren. (kN/m)	tr - En bü. uç diren. (kN)	spx - kaz. ara. @x (m)	spy - kaz. ara. @y (m)	le - kaz. uzun. (m)	di - kaz. çapı (m)	wix - radye eni (m)	wiy - radye uzun. (m)	bed - dip. derin. (bed) (m)	th - rad. kalı. (m)	kaz. ken. ort. zem. mod. (MPa)	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)
200	50	1.05	1.05	11.0	0.33	49.3	17.8	50	1.0	55000	55	55	55

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
E4 (MPa)	E5 - kazık altı zemin mod. (MPa)	ld - yük (kPa)	Ec - kazık elas. mod. (GPa)	L0 - kazık. taş. yük. %	Kazık Yükleri (kN)								
					Kazık No 1	Kazık No 2	Kazık No 3	Kazık No 4	Kazık No 5	Kazık No 6	Kazık No 7	Kazık No 8	Kazık No 9
55	55	20	25	79%	250	227	308	231	215	284	317	309	321

## Vaka Çalışmasının Sonuçlarının Yorumlanması

Shulyat'ev ve Kharichkin, 2009 binanın yapımı sırasında 2 köşe (N1A, N2B), 2 kenar (N2A, N2B) ve 2 iç kazık (N3A, N3B) üzerinde oluşan aksel yükleri rapor etmiştir (Şekil 7). Bu kazıkların yerleri ikişer ikişer simetrik ve bu yüklerin ortalamaları alınmıştır. Genel olarak köşedeki kazıkta en büyük, kenar kazıkta daha küçük ve orta kazıkta ise en küçük yük ölçülmüştür (Tablo 6). Hamderi, 2019 Shulyat'ev ve Kharichkin, 2009' in çalışmasını TNO-DIANA programının kazık yükü dağılımını hesaplamadaki performansını değerlendirmek için kullanmıştır. Bu çalışma kapsamında ise TNO-DIANA programından ve formülden çıkan kazık yükleri, ölçülmüş kazık yükleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 8). Karşılaştırma sonucunda formül ile ve TNO-DIANA ile bulunan kazık yüklerinin köşe kazık için çok benzer çıktığı görülmektedir (%7 fark) (Şekil 8a). İç ve kenar kazıklarda ise formül ve TNO-DIANA programında elde edilen kazık yüklerinin ortalama % 40 oranında daha büyük çıktığı görülmektedir. Bulunan bu değerlerin geoteknik mühendisliğindeki yaklaşıklık sınırları içinde bulunduğu düşünülmektedir.

## Sonuçlar ve Tartışma

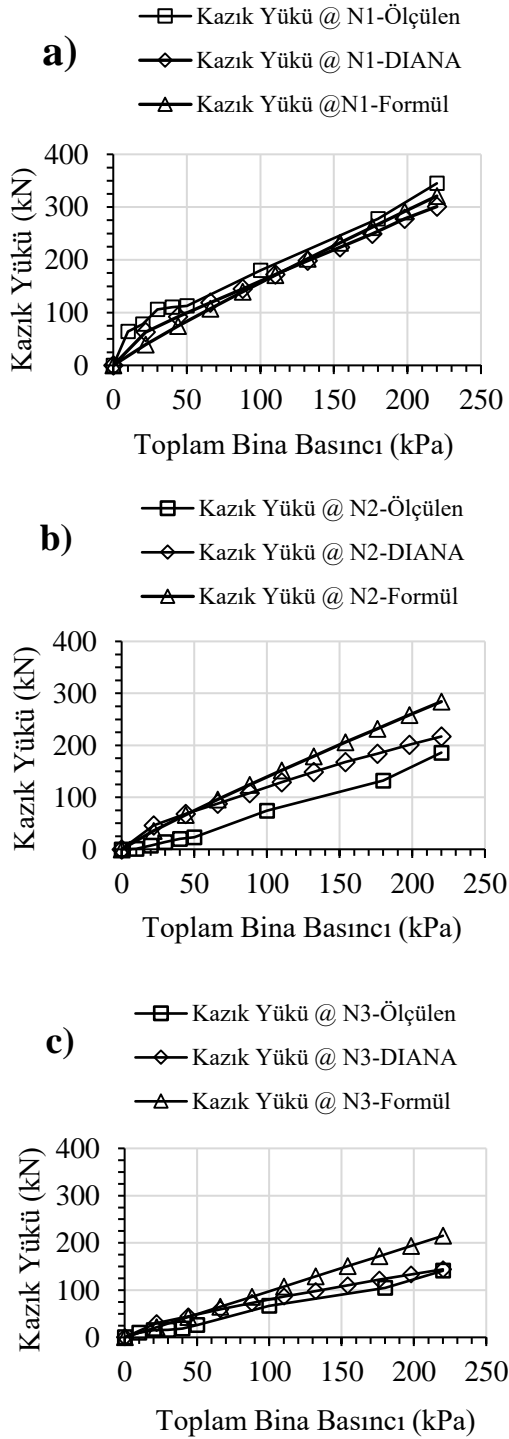
Bu çalışma kapsamında yapı ağırlığının kazıklar üzerindeki dağılım mekanizması incelenmiş, bu konuda 3-Boyutlu sonlu elemanlar analizi tabanlı bir formül tanımlanmış ve bu formül bir vaka çalışmasına uygulanmıştır. Kazık yük dağılımı formülü kazık çapını, boyunu, sıklığını, yanal sürtünme ve uç direncini; radye kalınlığını, yayılı yükü ve 5 adet zemin tabakasının zemin modülünü bünyesine almaktadır. Yapılan bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Tanıtılan formül, kazıklı radyelerdeki yük dağılımını hesaplayan literatürdeki yegâne formüldür.
- Formül bir vaka çalışmasına uygulanmıştır ve çıkan sonuçlar, ölçülen değerlere Geoteknik açıdan kabul edilebilir yakınlıkta bulunmuştur.
- Gerek formülden çıkan sonuçlar, gerekse deneysel sonuçlar, kenardaki kazıkların iç

kazıklardan daha fazla yük aldığını göstermektedir. Dolayısı ile ilk bakışta kazık boyunun daha olumsuz sonucu verecek olan kenar kazık yüklerine göre seçilmesi gerektiği sonucuna varılır. Öte yandan, kazıkların taşıma güçleri hesaplanırken güvenlik katsayısı 3 alındığından kazık hesabında bir "aşırı tasarım" durumu söz konusudur. Bu tür bir aşırı tasarımı biraz olsun normalleştirmek için kazık boyunun, sayıca az üzerindeki yükü fazla olan kenar kazıklara göre değil de, sayıca fazla üzerindeki yükü az olan iç kazıklara göre boyutlandırılmasına izin verilmelidir.

- Birçok yönetmelikte tüm yükün kazıklarca taşındığı, zemin radye teması vasıtasıyla yük taşınmadığı kabul edilmektedir. Halbuki birçok sistemde yükün ortalama % 80'i kazıklar tarafından taşınmaktadır. Geriye kalan % 20'lik kısmı hesaba katılmadığından bir aşırı tasarım söz konusudur. Önerilen formül, kazıkların taşıdığı yükü de hesapladığı için bu tür bir aşırı tasarımın giderilmesinde fayda sağlayacaktır.
- Tek katlı yapının 1. katına her ne kadar üniform yük etkimiş de olsa, temelin kenarlarına, kolonlardaki üniform olmayan yük dağılımdan dolayı daha az yük etkimiştir. Nitekim bu yaylı sistemde yay kuvvetlerinin - ufak bir fark da olsa- kenarda az çıkmasına neden olmuştur. Kazıklı sistemde ise kazıkların alacağı yükü, kazıkların bağlı oturması kontrol etmiş ve kolonların üniform olmayan yük dağılımının etkisi pek hissedilmemiştir.
- Bu çalışmada sunulan yöntemin kazıklı temellerdeki kazık yükü dağılımlarının bulunmasında pratik ve güvenilir bir araç olacağı düşünülmektedir.





Şekil 8. Formülden, TNO-DIANA'dan elde edilen kazık yüklerinin Shulyat'ev ve Kharichkin, 2009'nin bildirdiği yüklerle karşılaştırılması, a) N1 köşe kazığı, b) N2 kenar kazığı, c) N3 İç Kazığı

**Tablo 6.** Vaka Çalışmasında kaydedilen kazık yükleri (Shulyat'ev ve Kharichkin, 2009)

Yük (kPa)		Kazık Yükleri (kN)		
		N1	N2	N3
0 kPa	A	0		0
	B		0	0
	Orta.	0	0	0
10 kPa	A	64		18
	B		1	1
	Orta.	64	1	9.5
20 kPa	A	78		24
	B		7	7
	Orta.	78	7	15.5
30 kPa	A	106		1
	B		14	31
	Orta.	106	14	16
40 kPa	A	110		3
	B		20	34
	Orta.	110	20	18.5
50 kPa	A	113		15
	B		23	37
	Orta.	113	23	26
100 kPa	A	180		58
	B		74	75
	Orta.	180	74	66.5
180 kPa	A	278		86
	B		132	123
	Orta.	278	132	104.5
195 kPa	A	345		135
	B		186	147
	Orta.	345	186	141

Soldaki Kazıklar: N1A Köşe, N2A Kenar, N3A İç  
Sağdaki Kazıklar: N1B Köşe, N2B Kenar, N3B İç  
Aynı rakamı içeren kazıklar simetrik ve ortalamaları alınmıştır.

## Kaynaklar

- Budhu, M., 2010. Soil Mechanics and Foundations. 3rd ed. John Wiley & Sons Inc.
- Bowles, J. E., (1997). Foundation Analysis and Design., McGraw-Hill Inc., 5th edition.
- Chow, Y.K., Yong, K.Y., and Shen, W. Y. (2001). "Analysis of Piled Raft Foundations Using a Variational Approach" Int. J. of Geomechanics, 1(2), 129-147.
- Diana User's Manual, (2014). Release 9.5, TNO DIANA BV, Netherlands.
- Guoliang, D., Saldago R., Gong W., and Zhang, Y., (2012). Load tests on full-scale bored pile groups. Canadian Geotechnical Journal, 49, 1293-1308, Canada
- Katzenbach, R., Arslan, U., and Moormann C., (2000). Piled raft foundation projects in Germany, Design Applications of Raft Foundations, 323-392, Thomas Telford, London
- Hamderi, M., (2018a). Comprehensive Group Pile Settlement Formula based on 3D Finite Element Analyses, Soils and Foundations, Tokyo, 58(1), 1-15, Japan
- Hamderi, M., (2018b). Kazıklı radye temellerin oturma tahmini için yeni bir yöntem, DÜMF Mühendislik Dergisi, 9(2), 881-893, Turkey
- Hamderi, M., (2019). New Approach to Pile Load Estimation, Int. J. of Geomechanics, ASCE, Kabul Tarihi: 14.09.2018, USA
- Mandolini, A., Russo, G., and Viggiani, C., (2005). Pile foundations: Experimental investigations, analysis, and design, Proceedings of the Sixteenth International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 177-213, Osaka, New Press
- Midas GTS NX User's Manual, [http://manual.midasuser.com/en\\_common/GTS%20NX/150/GTX.htm](http://manual.midasuser.com/en_common/GTS%20NX/150/GTX.htm)
- Poulos, H.G., and Mattes, N. S., (1971). Settlement and Load Distribution Analysis of Pile Groups, Geomechanics J., 18-28.
- Sanctis, L., and Russo, G. (2008). Analysis and Performance of Piled Rafts Designed Using Innovative Criteria, J. of Geotech. and Geoenvironmental Eng., 134(8), 477-493.
- Shulyat'ev, O. A., and Kharichkin, A. I., (2009). In-situ measurement of pile-to-pile load distribution in foundations, Soils Mechanics and Foundation Engineering, 46(6), 239-246.
- Small, J.C., and Zhang, H.H., (2002). Numerical investigations of pile load distribution in pile group vertical loading foundation subjected to vertical load and large moment, Int. J. of Geomechanics, ASCE, 2(1), 29-45, USA
- Ukritchon, B., Faustino, J.C, and Keawsawasvong S., (2016). Behavior of piled raft foundations under lateral and vertical loading, Geomechanics and Engineering, 10(5), 577-598.
- Whitaker, T., (1957). Experiments with model piles in groups, Geotechnique 7, 147-165.
- Zhu, M., Zhang, Y., Gong, W., Wang, L., and Dai, G., (2017). Generalized Solutions for Axially and Laterally Loaded Piles in Multilayered Soil Deposits with Transfer Matrix Method, Int. J. of Geomechanics, ASCE, 17(4), USA.

## New method for estimating the pile axial loads in piled-rafts

### Extended abstract

*In the current literature, there is yet no analytical method offered for calculating the axial load distribution of the group piles. The main reason is that such systems are highly hyperstatic. These systems can be analyzed using some numerical approaches. In practice, pile loads are usually assumed to distribute equally along the raft. Alternatively, the distribution is calculated using structural finite element programs in which the piles are introduced as spring elements. The latter provides a rough estimation because it does not account for the force transmitted via raft-ground contact. Recently, in critical projects, 3-dimensional numerical approaches have been introduced to analyze piled-raft systems. However, these methods are expensive and cumbersome for ordinary projects. As an alternative, in this study, a 3-dimensional finite element based pile load distribution formula is introduced and applied to a case study. The group pile load formula allows the input of the dimensions of the rectangular raft ( $w_x$ ,  $w_y$ ); the diameter ( $d_i$ ), length ( $l_e$ ) and spacing of piles ( $s_{px}$ ,  $s_{py}$ ); vertical uniform pressure ( $l_d$ ); soil moduli up to 5 layers ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$ ,  $E_5$ ); ultimate pile-soil friction ( $f_r$ ) and the pile-tip resistance ( $t_r$ ). The formula is capable of calculating pile loads at 25 different locations. Additionally, the portion of load carried by the piles as well as through the raft-soil contact can be estimated. By this way, at least a 20 % reduction in amount of piles can be achieved.*

*There is a small number of laboratory and field studies in the literature related to pile load distribution. Whitaker, 1957 conducted laboratory experiments on reconstituted clay soil and found that the pile loads gradually increased towards the side. Sanctis and Russo 2008 identified load increases in the edge piles of circular tanks. Katzenbach et al., 2000 reported that the corner pile load measured in piles manufactured in the Frankfurt clay at the bottom of the Messe-Torhaus building in Frankfurt was 3.5 times that of the central pile. Mandolini et al., 2005 reported the corner to middle pile load ratio of the Garigliano Bridge as 1,6. In the same way, Shulyat'ev and Kharichkin report the corner to middle pile load ratio as 2.4 at the base of a building seated on an alluvial ground near the river. Guoliang, et al., 2012 carried out 9 piled loading*

*tests on a raft composed of silty-clay and sand layers and reported that lateral pile loads were larger than the center.*

*To investigate the pile load transfer, two different versions of a one-story-structure composed of columns, slabs and a piled-raft have been modeled in MIDAS GTS NX program. In the first model (embedded beam model), the piles were modeled with beam elements embedded into soil. In the second model (spring element model), the piles have been replaced with spring elements, in which the modeling the soil is ignored. In both models, the largest column load developed in the center and the smallest column load was in the corner. The ranges of column load values developed in both models were similar. In the spring element model, the pile load distribution was quite uniform, whereas in the embedded beam model, the pile load was the greatest in the corner, the smallest in the center. This has been attributed to the fact that the piles at the corners have limited mobility due to a smaller settlement on the sides, which leads to elevated compressive loads on side piles.*

*In addition, the formula has been applied to a case study by Shulyat'ev, and Kharichkin, 2009. The application steps of the formula have been explained in details. It has been found out that the formula could predict the pile load distribution in an acceptable accuracy.*

*The following conclusions can be drawn from the study:*

- *The offered formula is the only formula in the literature, which calculates the pile load distribution in piled-rafts.*
- *The reliability of the formula was investigated by applying it to a case study and it was concluded that the formula produces geotechnically acceptable results.*
- *In most piled-raft systems, piles carry about 80% of the building load. However, in many building codes, it is dictated that the piles should carry the entire building load excluding the part carried by raft-ground contact. This leads to an over-design. The proposed formula will be useful in eliminating such over-designs, because one can accurately calculate the load carried by the raft-ground contact. However, the codes should still adopt to the new way of calculation pile loads. It is considered that the method presented in this study will be a practical and reliable tool for estimating the pile load distributions of piled-rafts.*

**Keywords:** *Pile-raft foundation, TNO DIANA, axial load, force, group effect, pile groups*



## Kuraklık Riskinin bulanık Mantık Yardımıyla Türkiye Genelinde Değerlendirilmesi

**İsmail DABANLI\***

*İstanbul Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul*  
*İstanbul Medipol Üniversitesi, İklim Değişikliği Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi (IKLIMER), İstanbul*  
[idabanli@medipol.edu.tr](mailto:idabanli@medipol.edu.tr) ORCID: 0000-0003-3108-8167, Tel: (216) 681 51 00 (5390)

Geliş: 19.12.2018, Kabul Tarihi: 27.02.2019

### Öz

*Bu çalışmada meteorolojik ve sosyo-ekonomik veriler kullanılarak elde edilen kuraklık afet ve hassasiyetlik göstergeleri yardımıyla Türkiye genelinde kuraklık riski bulanık mantık çıkarımı (BMÇ) yaklaşımıyla bütüncül olarak değerlendirilmiştir. Kuraklık afetinin tam olarak anlaşılmasında kuraklık risk ve hassasiyetinin önemi bilinse de Türkiye için bütüncül ve yeterli miktarda bilimsel çalışmanın varlığından bahsetmek zordur. Kuraklık Afet Göstergesi (KAG) kuraklığın görülme ihtimaline dayanan standart yağış göstergesi (SYG) (Standardized Precipitation Index-SPI) kullanılarak kuraklık kavramının daha iyi anlaşılmasını kolaylaştırmak için hesaplanmıştır. Bunun yanında, Kuraklık Hassasiyet Göstergesi (KHG) kuraklığın sonuçlarının bağlı olduğu güncel dört adet sosyo-ekonomik veri kullanılarak hesaplanmıştır. BMÇ yardımıyla kuraklık afet ve hassasiyet göstergelerinin, kuraklık riskinin belirlenmesindeki öneminin vurgulanması bu çalışmanın temel hedefidir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre Türkiye genelinde 81 il arasında 5 ilin düşük kuraklık riski taşıdığı, 61 ilin orta kuraklık riskine sahip olduğu, 14 ilde yüksek kuraklık riskinin bulunduğu ve son olarak sadece Konya'da çok yüksek kuraklık riski ortaya çıktığı tespit edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Kuraklık; SYG; afet; risk; hassasiyet; bulanık mantık; Türkiye

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Kuraklık uzun süreli ve tekrar eden su kıtlığı şeklinde tanımlanan ve en fazla maliyete sahip yalnızca yağış kıtlığı olarak tanımlanan doğal bir afettir (Awange ve diğ., 2016; Kim ve diğ., 2015; Kao ve Govindaraju, 2010). Ayrıca, kuraklık toplumu, sosyal hayatı, turizmi ve tarımsal faaliyetleri de doğrudan etkileyen aşırı iklim olayı olarak değerlendirilmektedir (Rahman ve Lateh, 2016; Şen, 1998; Mishra ve Singh, 2010; Dabanlı ve diğ., 2017). Küresel ölçekte kuraklığın ekonomik maliyetinin yıllık 6-8 milyar dolar civarında olduğu bilim adamları tarafından ileri sürülmektedir (Jin ve diğ., 2016; Vasiliades ve Loukas 2009). Sonuçları itibari ile çok büyük ekonomik kayıplara yol açan kuraklığın risk değerlendirmesi son derece öneme sahiptir. İklim değişikliğinin etkisiyle suyun dağılımının yetersiz olması sebebiyle ve yıldan yıla suya olan talebin artmasıyla birlikte, kuraklık riski de hızla artmaktadır (Wang ve diğ., 2016; Nam ve diğ., 2015; Fontaine ve Steinemann, 2009).

Dünyanın pek çok bölgesinde olduğu gibi Akdeniz ülkelerinde de küresel iklim modeli projeksiyonlarına göre yağışlar azalırken sıcaklıklar da sürekli olarak artmaktadır (Venkataraman ve diğ., 2016; Vicente-Serrano, 2006; Bates ve diğ., 2008; Dai, 2011; Gampe ve diğ., 2016). Buna ilaveten Türkiye, Birleşmiş Milletlerin kişi başına düşen temiz su miktarına göre belirtilen sınıflandırmada “Su Fakiri” ülkeler arasında yer almaktadır. Akdeniz ülkesi olan Türkiye’de de tüm yurt genelinde olmasa da bölgesel olarak kuraklığa karşı yüksek hassasiyetten dolayı pek çok kuraklık afeti yaşanmıştır. Kuraklığa karşı gösterilen hassasiyet pek çok değişkene bağlı olup her bölge için farklılık gösterebilir. Plansız şehirleşme neticesinde Türkiye’de nüfusun yoğun olarak yaşadığı şehirler çok hızlı arazi kullanımı değişimine şahitlik etmektedirler. Bu şekildeki arazi kullanım değişimleri sadece sosyo-ekonomik açıdan olumsuz sonuçlar doğurmamakta, aynı zamanda şehirleri kuraklığa karşı daha hassas hale getirmektedir. Bu yüzden, kuraklığı sadece yağış azlığı veya sıcaklık artışı olarak değerlendirmek son derece eksik çıkarımlara sebebiyet verebilecektir. Kuraklığın

etkilerinin anlaşılması, zararlarının azaltılması ve etkin bir su kaynakları yönetimi tesis edilebilmesi için kapsamlı bir değerlendirme zaruret arz etmektedir.

Literatürde kuraklıkla alakalı yapılan çalışmalar genellikle kuraklığın süresi, şiddeti, trendi, zamansal ve mekânsal etkileri üzerine yoğunlaşmıştır (Şen, 1976, 1978; Dai, 2011; Xu ve diğ., 2015; Dabanlı ve diğ., 2016). Kuraklık olayının karmaşık yapısı meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik bakış açıları ile literatürde sıkça kullanılan standart yağış göstergesi (SYG) (Standardized Precipitation Index-SPI) (McKee ve diğ., 1993) ve Palmer kuraklık şiddeti göstergesi (PKŞG) (Palmer Drought Severity Index-PDSI) gibi bilimsel kuraklık göstergeleri yardımıyla çözüme kavuşturulmaktadır. En çok kullanılan göstergelerden biri olan SPI; istenilen herhangi bir zaman ölçeğine (1 aylık, 3 aylık, 6 aylık, ...v.b.) kolay uygulanabilir yapısından dolayı meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklıkların tespitinde tercih edilmektedir (Tosunoglu ve Can, 2016; Mishra ve Desai, 2005). Buna benzer olarak günlük yağışların analizine dayanan efektif kuraklık göstergesi (EKG) de (Effective Drought Index-EDI) hidro-meteorolojik kuraklık çalışmalarında sıkça kullanılan göstergelerden birisidir (Kim ve diğ., 2011). Günümüzde literatürde aktif olarak geliştirilmiş ve kullanılmakta olan elliden fazla kuraklık göstergesi bulunmaktadır. Sıkça kullanılan kuraklık göstergelerinden başlıcaları aşağıda özetlenmiştir. Yağış ile gerçek buharlaşma ve terleme yüksekliklerinin farkları üzerine inşa edilmiş olan standard yağış terleme+buharlaşma göstergesi (SYTBG) (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI) sıklıkla kullanılan göstergelerdendir (Vicente-Serrano ve diğ., 2010). Tsakiris ve diğ., (2007) SYTBG’ye benzer şekilde toplam yağış ile potansiyel buharlaşma ve terleme oranlarını dikkate alarak yeni kuraklık göstergesi (YKG) (Reconnaissance Drought Index-RDI) göstergesini geliştirmişlerdir. Birleşik kuraklık göstergesi (BKG) (Joint Drought Index-JDI) ise yağış ve debi verilerinin değişik kopula metotlarına uygulanması sonucu elde edilmiş kuraklık göstergesidir (Kao ve Govindaraju, 2010). Yakın

geçmişte değişik parametreler kullanılarak geliştirilmiş ve öne çıkmış olan kuraklık göstergelerinden Çoklu standard kuraklık göstergesi (ÇSKG) (Multivariate Standardized Drought Index-MSDI) Hao ve AghaKouchak (2013) tarafından; Üçlü kuraklık göstergesi (ÜKG) (Triple Drought Indicator-TDI) Şen (2015) tarafından ve son olarak Çoklu kuraklık göstergesi (ÇKG) (Multivariate Drought Index-MDI) Rajsekhar ve diğ., (2015) tarafından geliştirilmişlerdir.

Kuraklık risk göstergesi kuraklık şiddeti ile kuraklık hassasiyet göstergelerinin birlikte değerlendirilmesi sonucu elde edilmektedir. Bu değerlendirme yöntemi de çeşitlilik gösterse de bu çalışmada kuraklık şiddetinin ve hassasiyetinin belirli bir ölçekte normalize edilmesi ve sınıflandırılması zorunluluğu, BÖÇ yaklaşımının kuraklık riskinin hesaplanmasında diğer analitik yaklaşımlara göre daha uygun olacağını göstermektedir. “Düşük” “Orta” “Yüksek” gibi kuraklık şiddeti ve hassasiyeti sınıflandırmaları ile bu sınıflandırmaların sınırlarının öznel ve belirli bir kurala bağlanmamış oluşu bulanık mantığın temel felsefesiyle birebir uyum sağlamaktadır (Toprak, 2009; Şen, 2004).

Diğer doğal afetlerin aksine kuraklık, kendini hissettirmeden yavaşça başlayan uzun süre ve geniş alanları etkileyerek sonlanan bir afet türüdür (Dahal ve diğ., 2015). Bundan dolayı kuraklığın şiddetinin kuraklık yaşanırken tespit edilmesi oldukça zordur. Kuraklıktan etkilenen sektörlerin ve insanların tespitinin yapılabilmesi kuraklıkla mücadelede ve zararlarının azaltılmasında son derece önemlidir. Bu sebeple kuraklık risk yönetimi; kuraklığın şiddeti ve kuraklık yaşanan bölgelerin kuraklığa karşı hassasiyetleri göz önünde tutularak birlikte bilimsel olarak değerlendirilirse başarılı ve önleyici olabilir (Ekrami ve diğ., 2016). Mevcut kuraklık risk planlarında kuraklık şiddetinin ve hassasiyetlerinin dahil edilerek esnek tedbirlerin alınması kuraklık zararlarını azaltabilecektir. (Sarhadi ve diğ., 2016). Wilhite (2000) tarafından kuraklıkla mücadele ve öteleme çalışmaları için 10 aşamalı kuraklık yönetim planı da geliştirilmiştir. Kuraklık riskinin değerlendirildiği bilimsel çalışmaların hepsinde kuraklık şiddeti ile kuraklık hassasiyetinin ortak

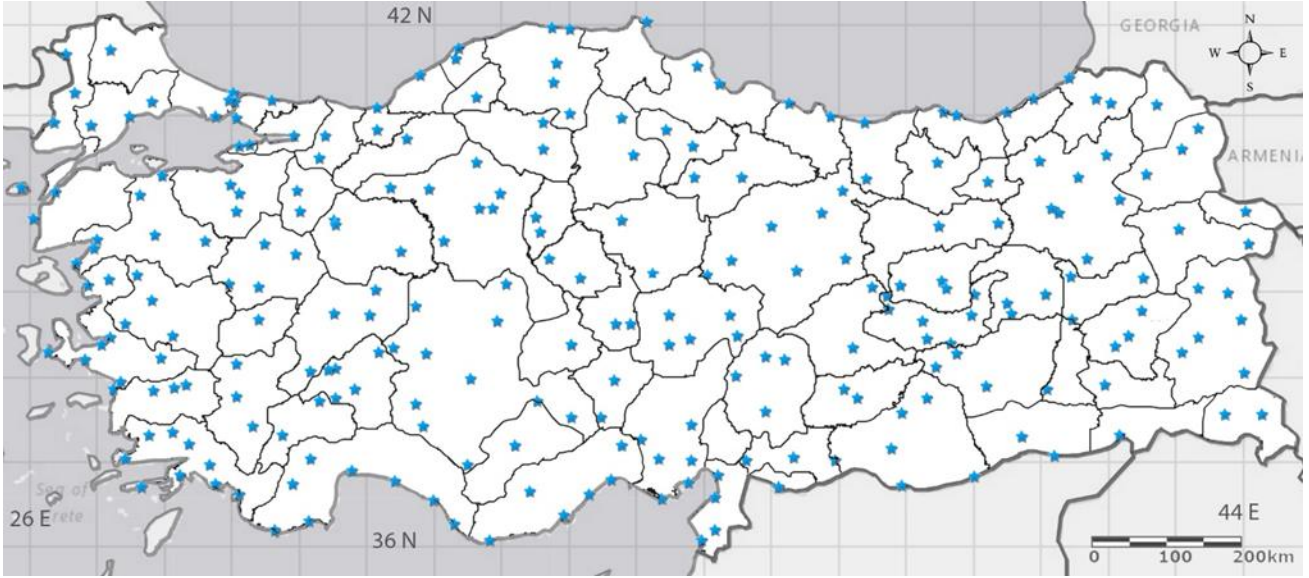
değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Jia ve Wang, 2016; Pei ve diğ., 2016; Lin ve diğ., 2011; Verdon-Kidd ve Kiem, 2010; Fontaine ve Steinemann, 2009; Shahid ve Behrawan, 2008).

Türkiye’de ise mevcut afet risk çalışmalarının çoğunluğu deprem riski ile alakalı çalışmalardır. Halbuki kuraklık riski de sonuçları itibari ile deprem riski kadar önemli ekonomik sonuçlar doğurmaktadır. Güncel sosyo-ekonomik veriler kullanılarak kapsamlı bir kuraklık risk çalışması sonucu elde edilecek risk haritaları çok önemli bir boşluğu doldurmuş olacaktır. Bilimsel yöntemlerle elde edilen kuraklık risk haritaları gerek bölgesel gerekse de merkezi karar vericilerin, strateji geliştiricilerin ve yöneticilerin pratik olarak kullanabilecekleri altlık olabilecektir. Özellikle bölgesel kuraklık yönetim kapasitenin geliştirilmesinde, aşırı iklim olaylarıyla, kuraklığın zaman ve mekân etkilerinin azaltılmasında kuraklık risk haritaları büyük öneme sahiptir. Bunlara ek olarak, nüfus yoğunluğu, tarımsal faaliyetler, gelir dağılımı, içme ve kullanma suyu miktarı, tarımsal nüfus gibi sosyo-ekonomik verilerin kuraklık riskine ne derece etki ettikleri rahatlıkla anlaşılabilir.

Bu çalışmanın temel hedefleri arasında Türkiye geneli 250 istasyondan (1971–2010) elde edilen yağış verileriyle 2015 yılına ait güncel sosyo-ekonomik veriler kullanılarak bulanık mantık yardımıyla kuraklık riskinin 81 il için ayrı ayrı elde edilmesi ve kuraklık risk haritalarının geliştirilmesi yer almaktadır.

## Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Türkiye Avrupa ve Asya kıtaları üzerinde yer alan 26o–45o Doğu meridyenleri ve 36o–42o Kuzey paralelleri arasında yer almaktadır. Bu çalışmada kullanılan Türkiye geneli 81 ilde homojen dağılmış toplam 250 yağış istasyonlarının konumları Şekil 1’de sunulmuştur. Bu istasyonlardan elde edilen aylık yağış verileri Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (<http://www.mgm.gov.tr>) arşivlerinden 1971–2010 yılları arasını kapsayacak şekilde temin edilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan 2015 yılına ait sosyo-



Şekil 1. Çalışmada kullanılan Türkiye geneli yağış istasyonlarının dağılımı ve il sınırları

ekonomik veriler (nüfus, içme-kullanma suyu, toplam tarım alanı ve sulanan tarım alanı) ise Türkiye İstatistik Kurumu (<http://www.tuik.gov.tr>) arşivlerinden temin edilmiştir.

## Yöntem ve Uygulama

Kuraklık riski genellikle kuraklık şiddeti ve kuraklığın yaşandığı alanlardaki sosyo-ekonomik faaliyetlerin çeşitliliğine bağlıdır. Kuraklık riskinin nesnel ve bilimsel yöntemlerle değerlendirilmesi; kuraklığın yıkıcı etkilerinin üstesinden gelebilmek için çok önemlidir (Kim ve diğ., 2015). Bu noktadan hareketle kuraklık riski bu çalışma kapsamında geliştirilen ve Şekil 2'de gösterilen kavramsal model vasıtasıyla Kuraklık Risk Göstergesi (KRG), Kuraklık Afet Göstergesi (KAG) ve Kuraklık Hassasiyet Göstergesi (KHG) hesaplanarak değerlendirilmiştir.

## Standart Yağış Göstergesi (SPI)

Kuraklığın şiddetini, süresini, etki ettiği alanları tanımlamak için faydalanılan en önemli faktör kuraklık göstergesidir. Bu çalışma kapsamında ilk olarak 250 istasyondan aylık yağış verileri kullanılarak elde edilen SPI (McKee ve diğ., 1993; Guttman, 1999) göstergeleri hesaplanmıştır. SPI göstergesinin tercih edilme sebepleri arasında basit hesaplama yöntemi, istenilen zaman ölçeğinde hidrolojik, tarımsal ve meteorolojik kuraklık hesaplamalara izin veren yapısı ve standartlaştırılmış değerler üretmesi yer almaktadır. Yağış haricindeki diğer meteorolojik verilerin ölçülememesi, ya da temin edilememesi durumlarında SPI göstergesi, sadece yağış miktarını dikkate aldığı için hem pratik hem de oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir. SPI göstergesinin hesaplama adımlarının ilki veri zaman serisinin Gamma ihtimal yoğunluk fonksiyonuna (İYF) uydurmakla başlamaktadır. SPI yönteminin ayrıntılı matematik açıklaması



Şekil 2. Kuraklık Risk değerlendirmesi için geliştirilen kavramsal model.

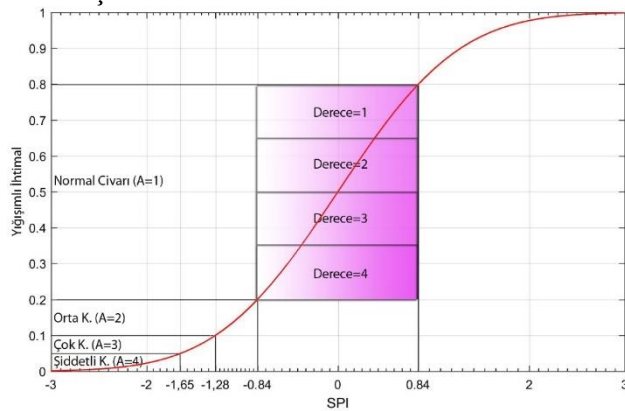
pek çok kaynakta gösterildiğinden ve genel bilgi kapsamında yer aldığından bu bölümde sadece özet olarak açıklanmıştır. Yöntemin ayrıntılı açıklaması McKee ve diğ. (1993), Guttman (1999), Mishra ve Singh (2010) ve Şen (2015) çalışmalarında görülebilir. Bu çalışmada 12 aylık SPI göstergesi (SPI-12) tercih edilmiş olup, SPI bazlı kuraklık sınıflandırmaları Çizelge 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** SPI bazlı kuraklık sınıflandırmaları (Santos ve diğ., 2010)

Aşmama İhtimali	SPI	Kuraklık Sınıfı
0.05	$SPI \geq 1.65$	Aşırı nemli
0.10	$1.65 > SPI \geq 1.28$	Çok nemli
0.20	$1.28 > SPI \geq 0.84$	Orta nemli
0.60	$0.84 > SPI > -0.84$	Normal
0.20	$-0.84 \geq SPI > -1.28$	Orta kurak
0.10	$-1.28 \geq SPI > -1.65$	Çok kurak
0.05	$-1.65 \geq SPI$	Aşırı kurak

### Kuraklık Afet Göstergesi (KAG)

Kuraklık Afet Göstergesi (KAG) SPI serilerinin Şekil 3’de gösterildiği şekilde standart normal dağılıma göre eşleştirilen ağırlık (A) ve derece (D) puanları dikkate alarak hesaplanmıştır. Her bir kuraklık sınıfı için tanımlanan ağırlık puanları normal dağılıma göre eşleştirilmiştir. Mesela, normal kurak sınıfın ağırlığı 1 iken, orta kurak sınıfının 2, çok kurak sınıfının 3 ve son olarak aşırı kurak sınıfının ağırlığı 4 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde dereceleri de görülme sıklık ihtimallerine göre kuraklık şiddetiyle doğru orantılı olacak şekilde atanmıştır.

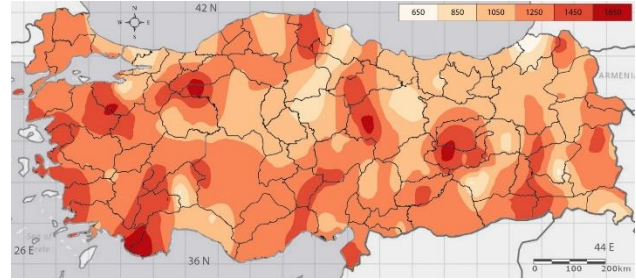


**Şekil 3.** SPI serilerinin standart normal dağılıma göre eşleştirilen ağırlık ve derece puanları.

Ağırlık ve derece puanları eşleştirildikten sonra 1971–2010 arasında hesaplanan SPI serilerinin her biri için Kuraklık Afet Puanı (KAP), ağırlık ve derece puanlarının çarpılması sonucu elde edilmiştir. 250 istasyonda hesaplanan KAP serileri aşağıda verilen formül vasıtası ile elde edilmiştir.

$$(KAP)_i = \sum_{i=1}^{N_{SPI}} A_i \cdot D_i \quad (1)$$

Bu denklemde  $N_{SPI}$  seçilen SPI serisinde yer alan veri sayısını; A ve D ise sırasıyla ağırlık ve derece puanlarını temsil etmektedir. Şekil 4’te ise KAP hesaplaması sonucu elde edilen puanlar ile 250 istasyonun konumları kullanılarak literatürde sıkça kullanılan Kriging enterpolasyon yöntemi ile kuraklık afet haritası elde edilmiştir.

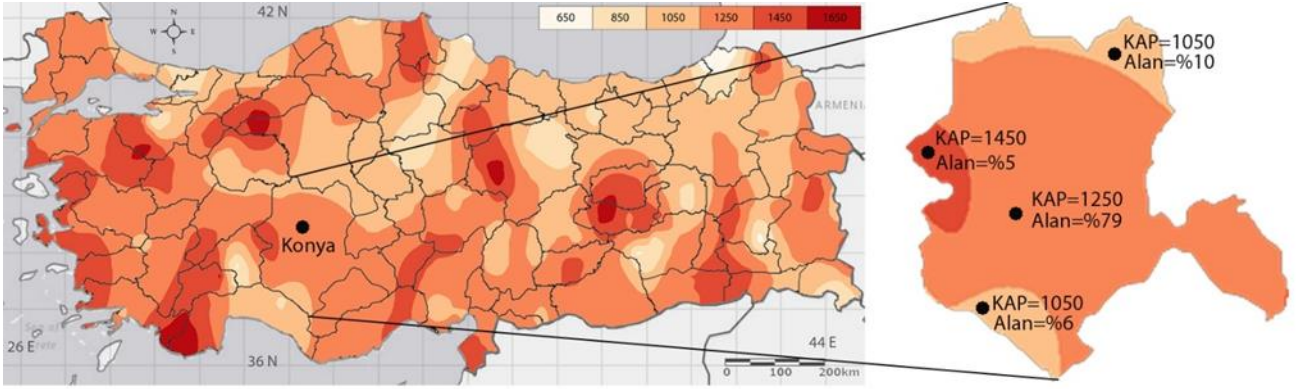


**Şekil 4.** 1971-2010 yılları arası kuraklık afet puanlarına dayalı kuraklık afet haritası.

Kuraklık verileri ile kuraklık afet verileri kıyaslanarak kuraklık riski tanımlaması yapabilmek için bu veri kümelerinin aynı zaman aralığında olmasının zarureti gibi aynı alanlar üzerinde etki etmesi de mecburidir. Bu yüzden kuraklık afet haritasında görülen sürekli eğrilerle tanımlanan afet bölgelerinin 81 ilin sınırları içerisine dönüştürmek gerekmektedir. Türkiye’nin en büyük yüz ölçüm alanına sahip ili olan Konya (Şekil 5) üzerinde ağırlıklı ortalama yöntemi ile aşağıdaki ifade kullanılarak sürekli afet bölgeleri il sınırlarına dönüştürülmüştür.

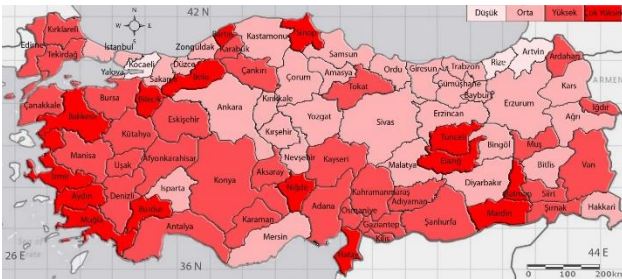
$$(KAG)_i = \sum_{i=1}^n A(\%)_i \cdot (KAP)_i \quad (2)$$





Şekil 5. İl bazında kuraklık afet göstergesi (KAG) hesaplanması için kuraklık afet haritasının il sınırlarına dönüşümünde kullanılan kuraklık afet puanları (KAP) ve yüzdelik alanlarının Konya il sınırları için örnek gösterimi.

Bu hesaplama yöntemi için seçilen Konya il sınırları içerisinde KAG 1229 ( $1229=1250 \times 0.79 + 1450 \times 0.05 + 1050 \times 0.16$ ) olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde aynı denklem ve yöntem kullanılarak il ölçeğinde ayrı ayrı KAP'lar ve karşılık gelen yüzdelik alanlar hesaplanmış ve Türkiye geneli 81 il sınırlarına göre KAG değerleri elde edilmiştir. Bu değerler 0 ile 1 arasında kalacak şekilde tekrar ölçeklenmiştir. Buna göre elde edilen KAG sınıf aralıkları "Düşük" sınıf 0 ile 0.25, "Orta" sınıf 0.25 ile 0.50, "Yüksek" sınıf 0.5 ile 0.75 ve son olarak "Çok Yüksek" sınıf 0.75 ile 1.0 arasında değerlendirilmiş ve Şekil 6'da il bazında kuraklık afet haritası bulunmaktadır. Bu haritaya göre Edirne-Hakkâri aksı altında kalan şehirlerinin kuraklık afet göstergelerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Kuraklık afet haritasından elde edilen verileri somutlaştırıp sayısal olarak ifade etmek gerekirse 1971-2010 yılları arasında il bazında Türkiye'nin %19'unun çok yüksek, %39'unun yüksek, %38'inin orta ve %4'ünün düşük kuraklık afeti yaşadığı çıkarımı yapılabilir.



Şekil 6. KAG kullanılarak elde edilen il bazında kuraklık afet haritası.

### Kuraklık Hassasiyet Göstergesi (KHG)

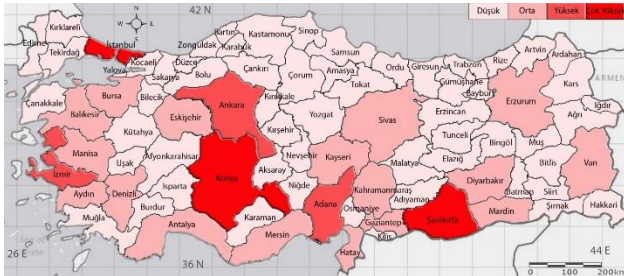
Kuraklık hassasiyeti genelde bir bölgenin kuraklık karşısında gösterdiği tepki ya da esneklik olarak ifade edilmektedir (Wilhelmi ve Wilhite, 2002). Bu gösterge seviyesi ya da kuraklığa karşı esneklik derecesi bölgesel faktörlerle doğrudan ilişkilidir (UNDP, 2004). Kuraklık hassasiyeti tanımı; kuraklığın etki alanlarında göreceli olarak iklim değişikliği perspektifi altında yapılan bir ölçüdür. İklim değişikliğinin kuraklık hassasiyeti üzerindeki etkisini araştırmak için pek çok çalışma yapılmıştır (Eakin ve Conley, 2002; Metzger ve diğ., 2005; Brooks ve diğ., 2005; Kim ve diğ., 2015). Kuraklık hassasiyeti değerlendirmesinde kuraklıktan etkilenmesi muhtemel ne kadar fazla sosyo-ekonomik veri kullanılabilirse o kadar fazla isabetli sonuçlar elde edilebilmektedir (Kim ve diğ., 2015). Ancak sosyo-ekonomik verilerin tüm şehirler için aynı ölçekte elde edilmesi bir hayli güç olduğundan elde ne kadar ortak veri var ise onlara dayalı hassasiyet değerlendirmesi yapmak gerekir.

Seçilecek sosyo-ekonomik verilerin kuraklıkla ilişkisinin doğru bir şekilde analiz edilmesi son derece önemlidir. Mesela, uzun süren kuraklık dönemi zemindeki buharlaşma ve terleme yolu ile kayıpları artırdığından doğrudan tarımsal verimlilikle ilgili olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca akarsu rejimleri ile göl ve barajlarda depolanan su hacimlerinin azalması doğrudan sulama ve şebeke suyu sıkıntıları ortaya çıkarabilmektedir. Dolayısı ile kuraklıklar doğrudan doğruya gerek tarımsal faaliyetleri

gerekse de şebeke sularıyla insan hayatını etkilemektedir. Bu çalışmada verilerin güvenilirliği, güncelliği ve ulaşılabilirliği durumlarına göre 4 farklı sosyo-ekonomik veri kümesi kullanılmıştır. Aşağıdaki ifadede gösterildiği üzere ortalama olarak elde edilen KHG hesabında 2015 yılına ait Sulanan Tarım Alanı (STA), Toplam Tarım Alanı (TTA), Nüfus Yoğunluğu (NY) ve İçme-Kullanma Suyu (İKS) veri kümeleri kullanılmıştır. Bu ifadede veri kümeleri kullanılmadan önce her biri kendi içerisinde olmak üzere 0 ile 1 arasında yeniden standartlaştırılmıştır.

$$KHG = \frac{TSA_s + TTA_s + NY_s + İKS_s}{4} \quad (3)$$

Türkiye geneli 81 il için KHG değerleri hesaplanmış ve aynen KAG için olduğu gibi elde edilen KHG değerleri 0 ile 1 arasında standartlaştırılıp dört alt sınıfa ayrılmıştır. Buna göre elde edilen KHG sınıf aralıkları “Düşük” sınıf 0 ile 0.25, “Orta” sınıf 0.25 ile 0.50, “Yüksek” sınıf 0.5 ile 0.75 ve son olarak “Çok Yüksek” sınıf 0.75 ile 1.00 arasında değerlendirilmiş ve Şekil 7’de il bazında kuraklık hassasiyet haritası oluşturulmuştur.



Şekil 7. KHG kullanılarak elde edilen il bazında kuraklık hassasiyet haritası.

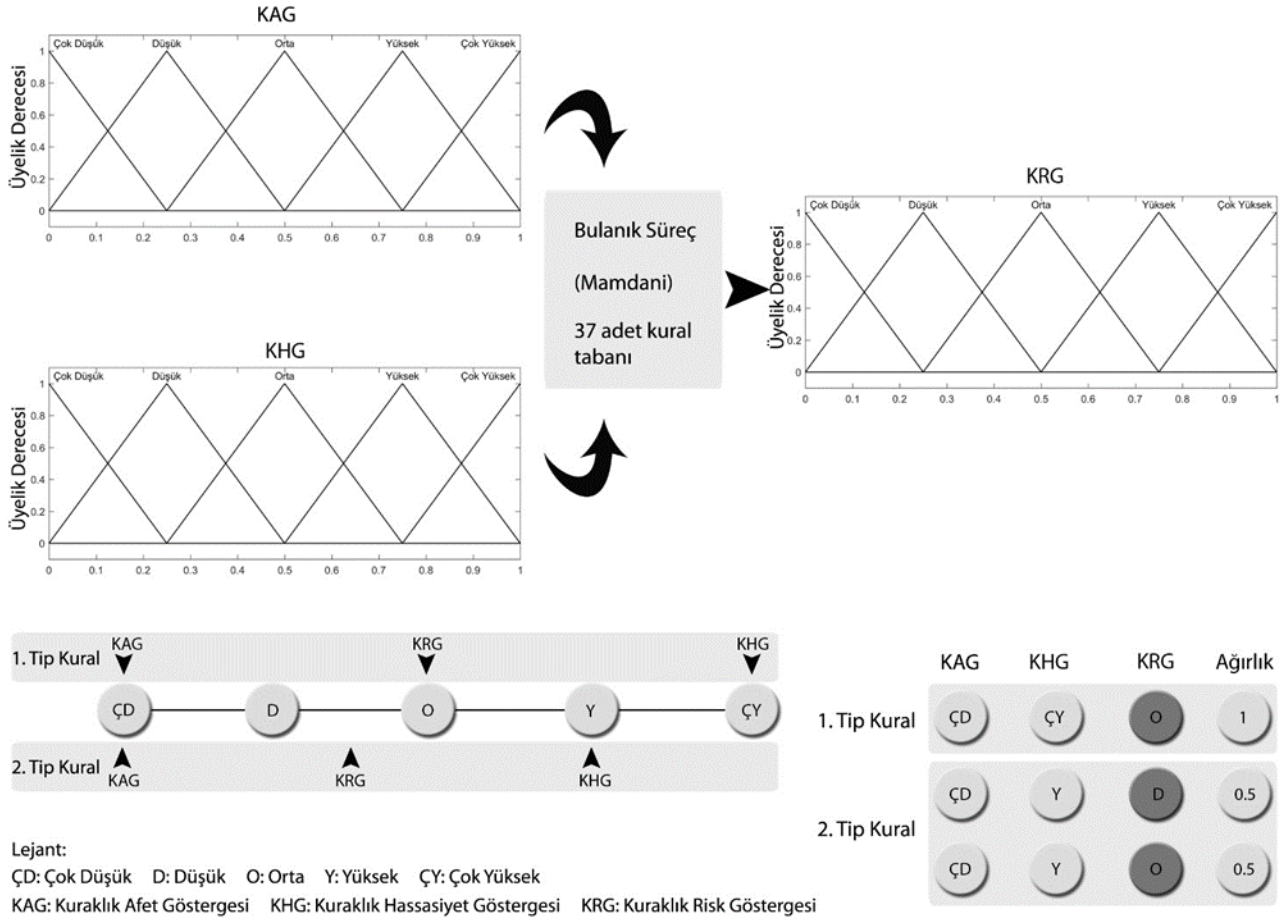
Kuraklık hassasiyet haritası incelendiğinde pek çok çıkarım yapmak mümkündür. Mesela, İstanbul, Konya ve Şanlıurfa kuraklığa karşı çok yüksek hassasiyete sahip olarak karşımıza çıkmıştır. İstanbul’un nüfus yoğunluğu, Konya ve Şanlıurfa’nın ise sulanan ve toplam tarım alanlarının büyüklüğü bu şehirlerin çok yüksek derecede hassasiyete sahip olmalarının sebepleri olarak gösterilebilir. Nüfus yoğunluğu ve tarım alanlarının büyüklüğü dikkate alındığında Ankara, İzmir ve Adana da yüksek hassasiyete

sahip şehirler arasındadır. KHG haritasından elde edilen diğer önemli bir husus ise Türkiye’nin %72’sinin kuraklığa karşı hassasiyetinin düşük seviyede olduğudur.

### Kuraklık Risk Göstergesi (KRG) ve Bulanık Modelleme

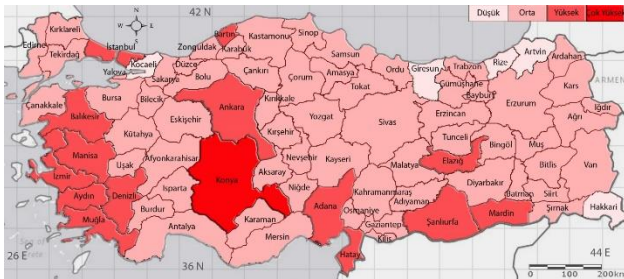
Bu çalışmada KRG hesaplamaları KAG ve KHG verileri kullanılarak bulanık mantık çıkarımı (BMÇ) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. BMÇ olarak Mamdani (Mamdani ve Assilian, 1975) modeli seçilmiştir. Bunun seçilmesinde risk seviyelerinin belirlenmesinde sözel ifadelerin (Çok riskli, normal, az riskli, v.b.) baskın olması etkili olmuştur (Güçlü ve Şen, 2016). Şekil 8’de görüldüğü üzere KRG hesaplamasında kullanılan bulanık süreç, üyelik dereceleri ve tip kural tabanları ayrıntılı bir şekilde görselleştirilmiştir. Hem KAG hem KHG hem de çıktı olarak KRG için 5 ayrı bulanık küme (“Çok Düşük”, “Düşük”, “Orta”, “Yüksek”, “Çok Yüksek”) seçilmiştir. Kural tabanında ise 2 tip kural geliştirilmiştir. Şekil 8’de de görüldüğü üzere KAG ve KHG girdilerinin eşit oranda etkiye sahip oldukları kabulüyle tam ortasında yer alan küme KRG olarak seçilmiştir. Matematik ifade ile KRG girdilerin aritmetik ortalaması olarak ifade edilebilir. Eğer KRG değeri tam KAG ve KHG arasında bir bulanık kümeye denk geldiyse bu kural 1’dir. Bu tip kural olarak isimlendirilip ağırlık katsayısı 1 olarak tayin edilmiştir. 2. Tip kuralda ise KRG değeri tam bir bulanık kümenin üzerine denk gelmeyip 2 bulanık küme arasında kaldığı durumu ifade etmektedir. Bu durumda KRG eşit mesafede sağ ve sol tarafında kalan bulanık kümelere %50 oranında dâhil olduğu kabul edilerek ağırlık katsayısı 0.50 olarak atanarak 2 ayrı kural tanımlanmıştır. Toplamda açıklanan hesaplama yöntemine göre 37 adet kural tabanı bulanık sürece dahil edilmiş ve KRG verileri Türkiye genelinde 81 şehir için elde edilmiştir.

Elde edilen KRG değerleri ve aynen KAG ve KHG hesaplarında olduğu gibi 0 ile 1 arasında standartlaştırılıp dört alt sınıfa ayrılmıştır. Buna göre KRG sınıf aralıkları “Düşük” sınıf 0 ile 0.25, “Orta” sınıf 0.25 ile 0.50, “Yüksek” sınıf



Şekil 8. KRG hesabında kullanılan bulanık süreç şeması, üyelik dereceleri ve kural tabanı gösterimi.

0.5 ile 0.75 ve son olarak “Çok Yüksek” sınıf 0.75 ile 1.00 arasında değerlendirilmiş ve Şekil 9’da gösterildiği üzere Türkiye geneli il sınırları bazında kuraklık risk haritası geliştirilmiştir.



Şekil 9. KRG kullanılarak elde edilen il bazında kuraklık risk haritası.

Kuraklık risk haritası açıkça kuraklık tehdidinin hangi illerde ciddi boyutta olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlara göre kuraklık riskinin en yüksek olduğu tek il Konya’dır. Bölgesel olarak ege kıyılarında kümelenen

illerden Muğla, Aydın, Denizli, İzmir, Manisa ve Balıkesir’in yanında İstanbul, Ankara, Bartın, Adana, Hatay, Elâzığ, Şanlıurfa ve Mardin de yüksek kuraklık riskine sahip şehirler olarak karşımıza çıkmıştır. Kuraklık riskinin en az olduğu 5 il de (Kocaeli, Giresun, Rize, Artvin ve Hakkâri) kuraklık risk haritasından rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Zikredilen bu şehirler dışında kalan ve çoğunluğu teşkil eden 61 şehir orta riskli olarak sınıflandırılmıştır. Bütün hesaplamalarda dikkate alınan puanlar ve il bazında sınıflandırmalar Çizelge 2’de sunulmuştur. Bu çizelge vasıtasıyla bütün illerin KAG, KHG ve KRG puanlarını bir arada karşılaştırmalı olarak değerlendirmek mümkündür. Bu aşamada altı çizilmesi gereken önemli bir husus da kural tabanındaki sınıflandırma kuralları ile BMÇ süreç sonucu elde edilen sonuçların birbirinden farklı olması beklenen bir sonuçtur. KAG ve KHG puanlarına göre BMÇ süreç içerisinde

**Tablo 1.** Türkiye geneli 81lil kapsayan KAG, KHG ve KRG puanları ve sınıflandırmaları.

No	İl	KAG		KHG		KRG	
		Puan	Sınıf	Puan	Sınıf	Puan	Sınıf
1	Adana	0,59	YÜKSEK	0,52	YÜKSEK	0,56	YÜKSEK
2	Adıyaman	0,73	YÜKSEK	0,14	DÜŞÜK	0,43	ORTA
3	Afyonkarahisar	0,67	YÜKSEK	0,21	DÜŞÜK	0,45	ORTA
4	Ağrı	0,46	ORTA	0,20	DÜŞÜK	0,37	ORTA
5	Amasya	0,34	ORTA	0,13	DÜŞÜK	0,31	ORTA
6	Ankara	0,46	ORTA	0,67	YÜKSEK	0,59	YÜKSEK
7	Antalya	0,61	YÜKSEK	0,37	ORTA	0,49	ORTA
8	Artvin	0,00	DÜŞÜK	0,04	DÜŞÜK	0,12	DÜŞÜK
9	Aydın	0,82	ÇOK YÜKSEK	0,33	ORTA	0,58	YÜKSEK
10	Balıkesir	0,87	ÇOK YÜKSEK	0,25	ORTA	0,58	YÜKSEK
11	Bilecik	0,75	ÇOK YÜKSEK	0,04	DÜŞÜK	0,38	ORTA
12	Bingöl	0,32	ORTA	0,06	DÜŞÜK	0,28	ORTA
13	Bitlis	0,48	ORTA	0,08	DÜŞÜK	0,30	ORTA
14	Bolu	0,82	ÇOK YÜKSEK	0,05	DÜŞÜK	0,42	ORTA
15	Burdur	0,87	ÇOK YÜKSEK	0,10	DÜŞÜK	0,48	ORTA
16	Bursa	0,63	YÜKSEK	0,32	ORTA	0,47	ORTA
17	Çanakkale	0,72	YÜKSEK	0,17	DÜŞÜK	0,45	ORTA
18	Çankırı	0,63	YÜKSEK	0,08	DÜŞÜK	0,35	ORTA
19	Çorum	0,34	ORTA	0,20	DÜŞÜK	0,31	ORTA
20	Denizli	0,73	YÜKSEK	0,30	ORTA	0,52	YÜKSEK
21	Diyarbakır	0,39	ORTA	0,29	ORTA	0,35	ORTA
22	Edirne	0,65	YÜKSEK	0,14	DÜŞÜK	0,39	ORTA
23	Elazığ	0,95	ÇOK YÜKSEK	0,14	DÜŞÜK	0,56	YÜKSEK
24	Erzincan	0,42	ORTA	0,10	DÜŞÜK	0,31	ORTA
25	Erzurum	0,37	ORTA	0,31	ORTA	0,33	ORTA
26	Eskişehir	0,57	YÜKSEK	0,28	ORTA	0,40	ORTA
27	Gaziantep	0,62	YÜKSEK	0,28	ORTA	0,44	ORTA
28	Giresun	0,26	ORTA	0,07	DÜŞÜK	0,24	DÜŞÜK
29	Gümüşhane	0,31	ORTA	0,04	DÜŞÜK	0,26	ORTA
30	Hakkari	0,27	ORTA	0,05	DÜŞÜK	0,24	DÜŞÜK
31	Hatay	0,82	ÇOK YÜKSEK	0,30	ORTA	0,56	YÜKSEK
32	Isparta	0,47	ORTA	0,12	DÜŞÜK	0,33	ORTA
33	Mersin	0,39	ORTA	0,35	ORTA	0,37	ORTA
34	İstanbul	0,29	ORTA	0,90	ÇOK YÜKSEK	0,61	YÜKSEK
35	İzmir	0,91	ÇOK YÜKSEK	0,54	YÜKSEK	0,69	YÜKSEK
36	Kars	0,40	ORTA	0,08	DÜŞÜK	0,30	ORTA
37	Kastamonu	0,43	ORTA	0,08	DÜŞÜK	0,30	ORTA
38	Kayseri	0,66	YÜKSEK	0,27	ORTA	0,46	ORTA
39	Kırklareli	0,62	YÜKSEK	0,09	DÜŞÜK	0,36	ORTA
40	Kırşehir	0,29	ORTA	0,13	DÜŞÜK	0,27	ORTA
41	Kocaeli	0,14	DÜŞÜK	0,15	DÜŞÜK	0,23	DÜŞÜK
42	Konya	0,62	YÜKSEK	1,00	ÇOK YÜKSEK	0,76	ÇOK YÜKSEK
43	Kütahya	0,72	YÜKSEK	0,12	DÜŞÜK	0,41	ORTA
44	Malatya	0,45	ORTA	0,23	DÜŞÜK	0,37	ORTA
45	Manisa	0,66	YÜKSEK	0,36	ORTA	0,51	YÜKSEK
46	Kahramanmaraş	0,50	YÜKSEK	0,36	ORTA	0,40	ORTA
47	Mardin	0,76	ÇOK YÜKSEK	0,28	ORTA	0,52	YÜKSEK
48	Muğla	0,88	ÇOK YÜKSEK	0,19	DÜŞÜK	0,54	YÜKSEK
49	Muş	0,58	YÜKSEK	0,13	DÜŞÜK	0,35	ORTA
50	Nevşehir	0,44	ORTA	0,14	DÜŞÜK	0,35	ORTA
51	Niğde	0,84	ÇOK YÜKSEK	0,15	DÜŞÜK	0,49	ORTA

No	İl	KAG		KHG		KRG	
		Puan	Sınıf	Puan	Sınıf	Puan	Sınıf
52	Ordu	0,31	ORTA	0,11	DÜŞÜK	0,29	ORTA
53	Rize	0,18	DÜŞÜK	0,03	DÜŞÜK	0,23	DÜŞÜK
54	Sakarya	0,47	ORTA	0,15	DÜŞÜK	0,36	ORTA
55	Samsun	0,31	ORTA	0,24	DÜŞÜK	0,29	ORTA
56	Siirt	0,63	YÜKSEK	0,06	DÜŞÜK	0,34	ORTA
57	Sinop	0,84	ÇOK YÜKSEK	0,05	DÜŞÜK	0,43	ORTA
58	Sivas	0,50	ORTA	0,26	ORTA	0,38	ORTA
59	Tekirdağ	0,64	YÜKSEK	0,14	DÜŞÜK	0,39	ORTA
60	Tokat	0,67	YÜKSEK	0,16	DÜŞÜK	0,41	ORTA
61	Trabzon	0,31	ORTA	0,08	DÜŞÜK	0,29	ORTA
62	Tunceli	0,89	ÇOK YÜKSEK	0,04	DÜŞÜK	0,46	ORTA
63	Şanlıurfa	0,61	YÜKSEK	0,75	ÇOK YÜKSEK	0,65	YÜKSEK
64	Uşak	0,65	YÜKSEK	0,07	DÜŞÜK	0,36	ORTA
65	Van	0,63	YÜKSEK	0,26	ORTA	0,43	ORTA
66	Yozgat	0,26	ORTA	0,20	DÜŞÜK	0,26	ORTA
67	Zonguldak	0,42	ORTA	0,05	DÜŞÜK	0,28	ORTA
68	Aksaray	0,53	YÜKSEK	0,16	DÜŞÜK	0,37	ORTA
69	Bayburt	0,31	ORTA	0,05	DÜŞÜK	0,27	ORTA
70	Karaman	0,65	YÜKSEK	0,14	DÜŞÜK	0,39	ORTA
71	Kırıkkale	0,31	ORTA	0,09	DÜŞÜK	0,29	ORTA
72	Batman	0,77	ÇOK YÜKSEK	0,08	DÜŞÜK	0,40	ORTA
73	Şırnak	0,66	YÜKSEK	0,07	DÜŞÜK	0,37	ORTA
74	Bartın	1,00	ÇOK YÜKSEK	0,02	DÜŞÜK	0,51	YÜKSEK
75	Ardahan	0,62	YÜKSEK	0,02	DÜŞÜK	0,33	ORTA
76	İğdır	0,65	YÜKSEK	0,08	DÜŞÜK	0,36	ORTA
77	Yalova	0,40	ORTA	0,03	DÜŞÜK	0,27	ORTA
78	Karabük	0,65	YÜKSEK	0,03	DÜŞÜK	0,36	ORTA
79	Kilis	0,60	YÜKSEK	0,04	DÜŞÜK	0,32	ORTA
80	Osmaniye	0,65	YÜKSEK	0,11	DÜŞÜK	0,38	ORTA
81	Düzce	0,44	ORTA	0,05	DÜŞÜK	0,28	ORTA

birden çok kural tetiklenmekte ve bunlar durulaştırma aşamasına farklı oranlarda katkı yapmaktadırlar.

## Sonuç

Bu çalışmada Türkiye geneli kuraklık riski bulanık mantık çıkarımı (BMÇ) yardımıyla Kuraklık Afet Göstergesi (KAG) ve Kuraklık Hassasiyet Göstergesi (KHG) puanları dikkate alınarak hesaplanmış ve risk haritası ortaya konulmuştur. Aynı zamanda kuraklık afet ve hassasiyet haritaları da elde edilmiştir. KAG bu çalışma için geliştirilen teorik model yardımıyla SPI serilerinden yararlanılarak 1971–2010 yılları arasındaki aylık yağış serileri göz önüne alınarak hesaplanmıştır. KHG ise 2015 yılına ait güncel 4 adet sosyo-ekonomik veri kümesi (Sulanan Tarım Alanı (STA), Toplam Tarım

Alanı (TTA), Nüfus Yoğunluğu (NY) ve İçme-Kullanma Suyu (İKS)) kullanılarak il ölçeğinde hesaplanmıştır. Elde edilen risk haritasına göre ya da Tablo 2’de sunulan sınıflandırmalara göre Türkiye genelinde sadece Konya (%1) “Çok Yüksek” riskli şehir olarak karşımıza çıkmıştır. Nüfus ve tarım alanlarının yoğunluğu sebebiyle “Yüksek” riskli olan ve Türkiye’nin %17’sini kapsayan 14 ilin Ege bölgesinde kümelendiği görülmektedir. Risk haritasından görüleceği üzere Türkiye’nin çok sayıdaki ili büyük oranda (%75) “orta” risk sınıfında yer almaktadır. Son olarak “Düşük” riskli şehirlerin 81 il içerisindeki oranı ise %7 olmuştur. Kuraklık riski çalışmasının en önemli özelliği kuraklıkla mücadelede gerekli olan risk seviyelerini illerin hassasiyetlerini dikkate alarak ortaya koymasındır. Özellikle kuraklık sonrası ortaya çıkabilecek zararların en aza indirilmesi için bu

çalışmada belirlenen risk sınıflarına göre her bir il için öncelikli ve aşamalı tedbirler alınabilir. “Yüksek” ve “Çok Yüksek” riskli şehirlerde, riskin yüksek olmasının sebebi kuraklık afet ve hassasiyet göstergelerinden rahatlıkla anlaşılabilir. Dolayısı ile bu çalışma kapsamında elde edilen haritalar ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından bütüncül bir şekilde değerlendirildiği takdirde kuraklıkla mücadele eylem planlarına çok önemli bir bakış açısı ve katkı verebilecektir.

## Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından sağlanan 1059B141501044 nolu araştırma desteğinin ve Su Vakfı'nın katkılarıyla gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a, Su Vakfı'na ve veri destekleri için Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ile Türkiye İstatistik Kurumu'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca değerli yorum ve katkılarıyla makaleyi değerlendiren dergi editör ve hakemlerine teşekkürü bir borç bilirim.

## Kaynaklar

- Awange, J. L., Mpelasoka, F., Goncalves, R. M., Science of the Total Environment When every drop counts: Analysis of Droughts in Brazil for the 1901-2013 period. *Science of the Total Environment*, 566–567, 1472–1488, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.031>
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., Palutikof (Eds.) J. P., *Climate Change and Water*, Tech. Pap. VI, Intergovernmental Panel on Clim. Change, Geneva, Switzerland, 2008.
- Brooks, N., Adger, W., Kelly, P., The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Glob. Environ. Change* 15, 151-163, 2005.
- Dabanlı, İ., Mishra A.K., Şen, Z., "Long-term spatio-temporal drought variability in Turkey." *Journal of Hydrology* 552: 779-792, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.038>
- Dabanlı, İ., Şen, Z., Yeleğen, M. Ö., Şişman, E., Selek, B., Güçlü, Y. S., Trend Assessment by the Innovative-Şen Method. *Water Resources Management*, 30(14), 5193–5203, 2016. <http://doi.org/10.1007/s11269-016-1478-4>.
- Dahal, P., Shrestha, N. S., Shrestha, M. L., Krakauer, N. Y., Panthi, J., Pradhanang, S. M., ... Lakhankar, T., Drought risk assessment in central Nepal: temporal and spatial analysis. *Natural Hazards*, 80(3), 1913–1932, 2015. <http://doi.org/10.1007/s11069-015-2055-5>
- Dai, A., Drought under global warming: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45–65, 2011. <http://doi.org/10.1002/wcc.81>
- Eakin, H., Conley, J., Climate variability and the vulnerability of ranching in southeastern Arizona: a pilot study. *Clim. Res.* 21, 271-282, 2002.
- Ekrami, M., Fatehi, A., Jalal, M., Drought vulnerability mapping using AHP method in arid and semiarid areas: a case study for Taft Township, Yazd. *Environmental Earth Sciences*, 75(12), 1–13, 2016. <http://doi.org/10.1007/s12665-016-5822-z>
- Fontaine, M. M., Steinemann, A. C., Assessing vulnerability to natural hazards: impact-based method and application to drought in Washington state. *Nat. Hazards Review. NHR* 10, 11-18, 2009.
- Gampe, D., Ludwig, R., Qahman, K., Afifi, S., Applying the Triangle Method for the parameterization of irrigated areas as input for spatially distributed hydrological modeling- Assessing future drought risk in the Gaza Strip (Palestine). *Science of the Total Environment*, 543, 877–888, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.098>
- Guttman, N. B., Accepting the Standardized Precipitation Index: a Calculation Algorithm1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), 311–322, 1999. <http://doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x>
- Güçlü, Y. S., Şen, Z., Hydrograph estimation with fuzzy chain model, 538, 587–597, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.057>
- Hao, Z., AghaKouchak, A., Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model. *Adv. Water Resour.* 57, 12–18, 2013.
- Jia, H., Wang, D. P. J., Risk mapping of integrated natural disasters in China. *Natural Hazards*, 80(3), 2023–2035, 2016. <http://doi.org/10.1007/s11069-015-2057-3>.
- Jin, J., Wang, W., Wang, X., Adapting agriculture to the drought hazard in rural China: household strategies and determinants. *Natural Hazards*, 82(3), 1609–1619, 2016. <http://doi.org/10.1007/s11069-016-2260-x>
- Kao, S. C., Govindaraju, R. S., A copula-based joint deficit index for droughts. *J. Hydrol.* 380 (1–2), 121–134, 2010.
- Kim, D. W., Byun, H. R., Choi, K. S., Oh, S. B., A spatiotemporal analysis of historical droughts in

- Korea. *J. Appl. Meteorol. Clim.* 50, 1895-1912, 2011.
- Kim, H., Park, J., Yoo, J., Kim, T. Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. *Journal of Hydro-Environment Research*, 9(1), 28–35, 2015.  
<http://doi.org/10.1016/j.jher.2013.07.003>
- Lin, M. L., Chu, C. M., Tsai, B. W., Drought risk assessment in western Inner-Mongolia. *Int. J. Environ. Res.* 5(1), 139-148, 2011.
- Mamdani, E. H., Assilian S., An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13, 1975.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J., The relationship of drought frequency and duration time scales. In: *Eighth Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society, Anaheim, California, 1993.
- Metzger, M. J., Leemans, R., Schröter, D., A multidisciplinary multiscale framework for assessing vulnerabilities to global change. *Int. J. Appl. Earth Obs.* 7, 253-267, 2005.
- Mishra, A. K., Desai, V. R., Spatial and temporal drought analysis in the Kansabati river basin, India. *International Journal of River Basin Management*, 3(1), 31–41, 2005.  
<http://doi.org/10.1080/15715124.2005.9635243>.
- Mishra, A. K., Singh, V. P., A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202–216, 2010.  
<http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Nam, W., Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Tadesse, T., Wilhite, D. A., Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea. *Agricultural Water Management*, 160, 106–117, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.029>
- Pei, W., Fu, Q., Li, D. L. T., Assessing agricultural drought vulnerability in the Sanjiang Plain based on an improved projection pursuit model. *Natural Hazards*, 82(1), 683–701, 2016.  
<http://doi.org/10.1007/s11069-016-2213-4>
- Rahman, R., Lateh, H., Meteorological drought in Bangladesh: assessing, analyzing and hazard mapping using SPI, GIS and monthly rainfall data. *Environmental Earth Sciences*, 75(12), 1–20, 2016. <http://doi.org/10.1007/s12665-016-5829-5>
- Rajsekhar, D., Singh, V. P., Mishra, A. K., Integrated drought causality, hazard, and vulnerability assessment for future socioeconomic scenarios: An information theory perspective, 6346–6378, 2015.  
<http://doi.org/10.1002/2014JD022670>.
- Santos, F., Pulido-calvo, I., Portela, M. M., Spatial and temporal variability of droughts in Portugal, 46, 1–13, 2010.  
<http://doi.org/10.1029/2009WR008071>.
- Sarhadi, A., Burn, D. H., Ausin, M. C. Wiper, M. P., Time-varying nonstationary multivariate risk analysis using a dynamic Bayesian copula, *Water Resour. Res.*, 52, 2327–2349, 2016.  
<http://doi.org/10.1002/2015WR018525>.
- Shahid, S., Behrawan, H., Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Nat. Hazards*, 46, 391-413, 2008.
- Şen, Z., Wet and dry periods of annual flow series. *Journal of Hydrology*, 102, 1503–1514, 1976.
- Şen, Z., Autorun analysis of hydrological time series. *Journal of Hydrology*, 36, 75–85, 1978.
- Şen, Z., Probabilistic formulation of spatio-temporal drought pattern. *Theoretical and Applied Climatology*, 61(3-4), 197–206, 1998.  
<http://doi.org/10.1007/s007040050064>
- Şen, Z., Fuzzy logic and system models in water sciences. Turkish Water Foundation, İstanbul, 2004.
- Şen, Z., *Applied Drought Modeling, Prediction, and Mitigation*, 1st Edition, Elsevier, Amsterdam, 2015.
- Toprak, Z.F., Flow Discharge Modeling in Open Canals Using a New Fuzzy Modeling Technique (SMRGT), *Clean-Soil Air Water* 37(9): 742-752, 2009.
- Tosunoglu, F., Can, I., Application of copulas for regional bivariate frequency analysis of meteorological droughts in Turkey. *Natural Hazards*, 82(3), 1457–1477, 2016.  
<http://doi.org/10.1007/s11069-016-2253-9>
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H., Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resour. Manage.* 21(5), 821–833, 2007.
- UNDP, United Nation Development Program, *Reducing Disaster Risk: a Challenge for Development*. John S. Swift Co, New York, 2004.
- Vasiliades, L., Loukas, A., Hydrological response to meteorological drought using the Palmer drought indices in Thessaly, Greece. *Desalination*, 237(1–3), 3–21, 2009.  
<http://doi.org/10.1016/j.desal.2007.12.019>

- Venkataraman, K., Tummuri, S., Medina, A., Perry, J., 21st century drought outlook for major climate divisions of Texas based on CMIP5 multimodel ensemble: Implications for water resource management. *Journal of Hydrology*, 534, 300–316, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.001>
- Verdon-Kidd, D. C., Kiem, A. S., Quantifying drought risk in a nonstationary climate. *J. Hydrometeorol.*, 11, 1019-1031, 2010.
- Vicente-Serrano, S. M., Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910–2000), *Hydrol. Sci. J.*, 51(1), 83–97, 2006. <http://doi.org/10.1623/hysj.51.1.83>.
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., Lopez-Moreno, J. I., A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Climate* 23(7), 1696–1718, 2010.
- Wang, Y., Zhang, Q., Singh, V. P., Spatiotemporal patterns of precipitation regimes in the Huai River basin, China, and possible relations with ENSO events. *Natural Hazards*, 82(3), 2167–2185, 2016. <http://doi.org/10.1007/s11069-016-2303-3>
- Wilhite, D., *Drought: A Global Assessment*, Vol. I, pp. 3–18, London: Routledge, 2000.
- Wilhelmi, O. V., Wilhite, D. A., Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study. *Nat. Hazards*, 25, 37-58, 2002.
- Xu, K., Yang, D., Yang, H., Li, Z., Qin, Y., Shen, Y., Spatio-temporal variation of drought in China during 1961-2012: A climatic perspective. *Journal of Hydrology*, 526(7), 253–264, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.047>



## Drought Risk Assessment by Using Fuzzy Logic in Turkey

### Extended abstract

*In this paper, spatial drought risk pattern is quantified by incorporating hazard and vulnerability for provinces located in Turkey. The drought hazard index is identified by using SPI weight and rating scores between 1971 and 2010 by helping fuzzy approach. Drought has multiple impacts on socioeconomic sectors and it is expected to increase in the upcoming years due to non-stationary nature of climate variability and change. Here, drought hazard, vulnerability, and risk are investigated based on hydro-meteorological and actual socio-economic data for provinces of Turkey by helping fuzzy approach. Although, drought vulnerability and risk assessment are essential parts of drought phenomenon, so far, lack of proper integrated drought risk assessment in Turkey (and elsewhere) has led to higher socio-economic impacts.*

*Firstly, the Drought Hazard Index (DHI) is derived based on the probability occurrences of drought using Standardized Precipitation Index (SPI) to facilitate the understanding of drought phenomenon. Secondly, the Drought Vulnerability Index (DVI) is calculated by utilizing four socio-economic indicators to quantify drought impact on society. Finally, the Drought Risk Index (DRI) is obtained by employing DHI and DVI into fuzzy set for provinces of Turkey to highlight the relative importance of hazard and vulnerability assessment for drought risk management.*

*A set of drought hazard, vulnerability, and composite risk maps were then developed. The outputs of analysis reveal that among 81 administrative provinces in Turkey, 5 provinces are exposed to the low drought risk ( $0 < DRI < 0.25$ ), 61 provinces to the moderate drought risk ( $0.25 < DRI < 0.50$ ), and 14 provinces to the high drought risk ( $0.50 < DRI < 0.75$ ). Among all, only Konya has very high drought risk according to DRI score. These maps can assist stakeholders to identify the regions vulnerable to droughts, thus helping in development of mitigation strategies as well as effective water resources management in a consistently drought prone provinces.*

*Prolonged drought event has a direct impact on socio-economic sectors, for example, the rate of*

*evapotranspiration increases during drought period leading to depletion in soil moisture which is directly linked to the agricultural activity and food productions. Similarly, the reductions in streamflow and reservoir storage cause agricultural and municipal water supply deficits. Thus, drought is directly associated with municipal and agricultural water shortages which severely affects irrigated agricultural areas, and population.*

*Depending on the availability of reliable socio-economic data, four indicators are selected, such as Irrigated Land (IL), Total Agricultural Land (TAL), Population Density (PD) and Municipal Water (MW). First, the drought vulnerability is calculated by using four socioeconomic indicators parameters. Then, vulnerability map based on DVI is presented as seen in Figure 7. It was observed that Konya and Şanlıurfa witnessed very high vulnerability because of their extensive agricultural lands, whereas, Istanbul is designated as very high vulnerability because of its population density. Similarly, Adana, Ankara and İzmir are identified as high vulnerability because of their dense population and large agricultural land. Likewise, many interpretations can be extracted from this vulnerability map to understand existing vulnerability circumstances of each province in Turkey.*

*Furthermore, the conceptual drought risk model which depends on actual socio-economic variables can help to minimize drought impacts in Turkey. Overall this information can be used to identify provinces which are most vulnerable to drought as well as a relative assessment between provinces. Additional (i.e., current or future) socio-economic indicators can be further included to generate drought risk maps for scenario analysis as well as to develop strategies to minimize socio-economic impacts.*

**Keywords:** Drought, SPI, hazard, risk, vulnerability, fuzzy logic, Turkey



# Enerji Kimlik Belgelerinin Enerji Etkin Mimari Tasarım Kriterleri Açısından Değerlendirilmesi

**Can Tuncay AKIN\***

Dicle Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Diyarbakır  
[ctakin@dicle.edu.tr](mailto:ctakin@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0001-9658-7712 Tel: (412) 241 10 00 (3727)

**Sultan KAPLAN**

Şehircilik ve Çevre Bakanlığı Diyarbakır İl Müdürlüğü, Diyarbakır  
[mimsultan1982@hotmail.com](mailto:mimsultan1982@hotmail.com) ORCID: 0000-0001-9065-0242

Geliş: 07.02.2019, Kabul Tarihi: 27.02.2019

## Öz

Dünya genelinde enerji talebindeki artış; enerji kaynak rezervlerinin sorgulanması, enerji israfının önlenmesi, enerji verimliliği gibi konuları gündeme getirmiş ve ülkelerin bu konularda politikalar geliştirmesine neden olmuştur. Enerji harcamalarını azaltmak için binaların enerji etkin tasarlanmaları ve mevcut binalara bu amaçla tadilat yapılması fikri, başta Avrupa Birliği (AB) olmak üzere ülkemizde de güncel konular arasındadır. 2007 yılında “Enerji Verimliliği Kanunu” ve 2008 yılında “Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği”, 2010 yılında 2010/31/EU sayılı direktifle bu amaca yönelik olarak yeniden şekillendirilmiştir. Bu çalışmada enerji etkin tasarım kriterlerinin BEP Yönetmeliği kapsamında oluşturulan hesap yöntemi BEP-TR yazılımındaki değerlendirmeleriyle, farklı yerleşkelerdeki binalar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, binalarda enerji verimliliğini hesaplamak için kullanılan BEP-TR programındaki enerji performanslarının belirlenmesinde önemli olan veri girişlerinin geliştirilmesine katkıda sağlayıcı niteliktedir. Binaların Enerji kimlik belgelerinin (EKB) belirlenmesi için enerji etkin tasarım kriterlerinin, performans hesaplamalarında daha etkin rol oynaması gerektiği fark edilmiştir. Bu amaçla, BEP-TR ile elde edilen EKB'nin günümüzdeki uygulamalarına yönelik eksikleri belirlenmiş ve öneriler geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji kimlik belgesi, enerji etkin tasarım, Bina enerji performansı

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

05.12.2008 tarihli ve 27075 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe giren “BEP Yönetmeliği”, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, enerji israfının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları kapsamaktadır. Söz konusu yönetmelik kapsamında binaların ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve sıcak su temini için tükettikleri enerji ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) salınım sınıfının belirlenmesi ve enerji sınıfının belgelendirilmesi için binalara Enerji Kimlik Belgesi (EKB) verilmesi zorunlu kılınmıştır. Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi (BEP-HY) olarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) sunucuları üzerinden sağlanan web tabanlı Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi Türkiye (BEP-TR) adlı bir yazılım programı ile bina enerji performansı hesabı yapılabilmekte ve binaların EKB’leri üretilebilmektedir. BEP-TR hesaplama yöntemi için gerekli olan binaya ilişkin girdiler; iklim geometri, havalandırma ve ısıl özellikler, iç kazançlar ve güneş enerjisine ilişkin kazançlara bağlı özellikler, kullanılan malzemeler ve bileşenlerin tanımı, işleve bağlı iç konfor şartları (sıcaklık ve nem ayar değerleri, havalandırma miktarı), bina tipolojisine bağlı zonlama yöntemleri ve zon gibi veri girişlerinden oluşmaktadır.

EKB’de ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve sıcak su temini için tüketilen her bir enerji türüne göre yıllık birincil enerji tüketim sınıfı hesaplanmakta, binanın m<sup>2</sup> başına düşen yıllık enerji tüketimi belirlenmekte, bu değere göre CO<sub>2</sub> salınımı hesaplanmakta, değerler referans binanınki ile kıyaslanarak, binanın “A” ile “G” arasında değişen bir enerji sınıfı belirlenmektedir.

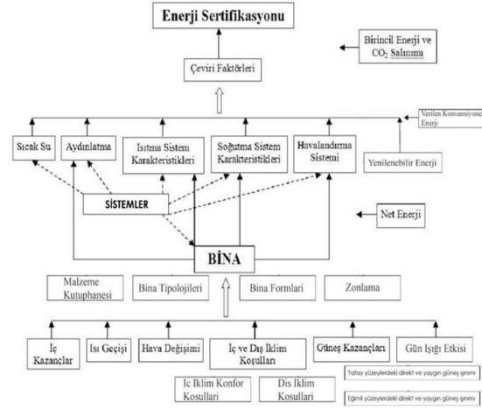
BEP-TR hesaplama yöntemi,

- binaların ısıtılması ve soğutulması için binanın ihtiyacı olan net enerji miktarının hesaplanmasını,
- net enerjiyi karşılayacak kurulu sistemlerden olan kayıpları ve sistem verimlerini de göz önüne alarak binanın toplam ısıtma-soğutma enerji tüketiminin belirlenmesini,

-havalandırma enerjisi tüketiminin belirlenmesini,

- binalarda günışığı etkileri göz önüne alınarak, günışığından yararlanılmayan süre ve günışığının etkili olmadığı alanlar için aydınlatma enerji ihtiyacının ve tüketiminin hesaplanmasını,

- sıhhi sıcak su için gerekli enerji tüketiminin hesaplanmasını kapsamaktadır (çizelge 1) (Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ 2010).



Çizelge 1. BEP-TR Süreci (Bayram

2010)

Literatürde, hem enerji kimlik belgesine eleştirisel yaklaşımlar hem de iyileştirilmesine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. İslamoğlu (2017), tasarım aşamasında binaların enerji tüketimlerinin göz önünde bulundurulmaması, mimari ve mekanik sistemlerin birbirinden bağımsız düşünülmesinin ve bina geometrisinin belirli form seçenekleriyle sınırlandırılmasının sakıncalarından bahsetmektedir. Anbarcı ve ark.(2011), binaların fizibilite-tasarım, şantiye ve bina kullanım aşamalarında ortaya çıkan enerji kayıplarının çevre sorunlarına neden olduğunu bildirmektedir. Yasan (2011), binanın proje aşamasında enerji korunumu açısından yeterli şartlar sağlandıktan sonra binanın inşa edilme aşamasına geçilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Yetkin (2014), uluslararası sertifika sistemlerinin ilişkin standartların yanında, Türkiye’deki standartların içerik açısından yeterli olmadığını ileri sürmektedir. Ulukavak Harputlugil (2012), BEP-TR’de bina fonksiyonuna bağlı içsel kazançlar, hava değişim oranları, güneş kazançları, ısıl kapasite, vb.

parametrelerin varsayılarak hesaplamalara dahil edildiği için hesaplama sonuçlarının hatalara neden olduğunu savunmaktadır. Aydın ve Canım (2017) ise Türkiye'nin beş iklim bölgesinden seçilen pilot illerde olduğu varsayılan bir konut binasının 5 cm kalınlığında XPS ısı yalıtımı yapıldığı kabul edildiğinde, BEP-TR programında yapılan hesaplamalar sonucunda ısıtma ve soğutma enerji tüketim miktarlarında farklılık gözlemlendi fakat enerji sınıfı olarak bütün bölgeler için "C" sınıfı çıktığı belirlenmiştir. EKB düzenlemesinin yapı kullanım izni aşamasında değil de inşaat ruhsatı sırasında zorunlu tutulması, yapılan enerji performans sonuçlarının ısıtma, soğutma, sıcak

su, aydınlatma ve havalandırma bölümlerinin ortalamasının "C" sınıfını sağlaması olarak değil de her bölümün ayrı ayrı "C" sınıfı barajını sağlaması gerektiği de belirtilmektedir. Önal (2015) binada yaşayan kişi sayısı, topoğrafik yapı, bitki örtüsü, binaya en yakın hava istasyon verilerinin enerji performans verilerine eklenmesi gerektiğini önemle vurgulamaktadır. Yaka ve ark. (2016) BEP-TR programı ile bir binanın farklı illerdeki (İstanbul, Ankara, Antalya ve Erzurum) ısınma, iklimlendirme, aydınlatma ve sera gazı emisyonu gibi tüketim alanları hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır (Çizelge 2).

**Çizelge 2.** Bir binanın farklı illerdeki BEP-TR enerji performans sınıfları

	İstanbul	Ankara	Erzurum	Antalya
<b>Isıtma</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
<b>Sihhi Sıcak Su</b>	D	D	D	D
<b>Soğutma</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>D</b>
<b>Havalandırma</b>	G	G	G	G
<b>Aydınlatma</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>Sera Gazı Emisyonu</b>	C	C	C	C
<b>Toplam</b>	C	C	C	D

Çizelge incelendiğinde ısıtma enerji performansının Antalya'da A sınıfı çıkmasının sebebi, sahip olduğu ılıman iklim şartlarıdır. Sihhi sıcak su enerji performansı, tüm illerde yenilenebilir enerji kaynağı (güneş enerjisinin sıcak su elde etme) kullanılmadığı için düşük (D sınıfı) olarak tespit edilmiştir. Soğutma enerjisi hesabında soğuk iklime sahip Erzurum'un Antalya'dan bile daha düşük (E sınıfı) çıkması BEP-TR programının güncellemelere ihtiyacı olduğunu göstermektedir.

Enerji tüketiminin azaltılmasının en etkili yolu, henüz tasarım aşamasındayken enerji etkin binalar tasarlamaktır. Enerji etkin bina tasarımı ile bina EBK'lerindeki enerji tüketim sınıfları yükseltilebilir ve tasarım aşamasında verilen

doğru kararlarla kaliteli, sağlıklı, sürdürülebilir ve minimum enerji harcamalarının öngörüldüğü ve kullanıcı konforu sağlayan binalar üretilebilir (Sultan 2018). Enerji etkin veya enerji performansı yüksek binaları, kullanıcıların kalite ve konfor koşullarını kısıtlamadan, bu konfor koşullarını minimum enerji harcayarak elde eden binalar olarak tanımlayabiliriz. Bina enerji performansında özellikle kışın ısıtma, yazın soğutma, doğal aydınlatma ve havalandırma için harcanan enerji tüketiminin minimize edilmesi hedeflenmektedir. Bina kullanıcı konforundan ödün vermeden, bina enerji tüketimini azaltacak mimari tasarım kriterlerinin belirlenerek bu doğrultuda mimari tasarım kararları alınmalıdır. Yanlış alınan tasarım kararlarının binaların enerji yükünü artırdığı bilinmelidir.

Enerji, binalarda enerji tüketimi ve enerji performansı kavramları açıklanmış ve bina enerji performansını etkileyen tasarım parametreleri

## Materyal ve Yöntem

örneklerle açıklanmıştır. Diyarbakır ili merkez sınırları içerisinde yer alan komşu 2 ayrı siteden elde edilen EKB'ler, enerji performansını etkileyen mimari tasarım kriterleri açısından değerlendirilmiştir.

Binanın güneş, hakim rüzgar gibi atmosferik ortam şartlarına göre yönlendirilmesi ve mekan organizasyonunun da binanın güneşlenme saatlerine dikkat edilerek uygun iç iklimsel koşulların ve doğal havalandırmanın sağlanması, doğaya zarar vermeyen, geri dönüşümlü malzemelerin tercih edilmesi, binayı ısıtmak ve soğutmak için mekanik sistemlerin kullanılma

oranının azaltılması, su tasarrufuna dikkat edilerek yağmur suyunun ve gri suların kullanımının sağlanması, enerji etkin yapı tasarım ve inşası, yenilenebilir enerji kullanımı, arazinin etkin kullanımı, binaların enerji performansını artırdığı gibi ekolojik, yeşil bina olarak davranmalarına da katkı sağlayacaktır (çizelge 3.) . İklim şartlarının binaya olumlu ve olumsuz etkileri hesaplanarak tasarlanan binalarda enerji performansı kendiliğinden artacaktır. Böylelikle binaların EKB'deki enerji tüketim değerlerinde de düşüşler gözlenmesi mümkündür.

YEŞİL BİNA TASARIM HEDEFLERİ	YEŞİL BİNA TASARIM İLKELERİ
Kaynak Kullanımının Azaltılması	Enerji etkin yapı tasarımı Enerji etkin yapım süreci Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi Geri dönüşümlü malzeme seçimi Yeniden kullanım Enerji etkin malzeme seçimi Yağmur sularının değerlendirilmesi Atık suların değerlendirilmesi Arazinin etkin kullanımı
Çevre ve Doğal Ortamın Korunması ve İyileştirilmesi	Doğal çevreye uyum Doğal bitki örtüsünün korunması ve iyileştirilmesi Çevrenin ekosisteminin anlaşılması ve korunması Hür türlü atığın azaltılması, denetlenmesi Geri dönüşümlü malzeme kullanımı Enerji tüketiminin azaltılması Temiz enerji kaynaklarının kullanılması
İnsan Sağlığının ve Konforunun En Üst Düzeyde Sağlanması	Uygun iç iklimsel koşulların oluşturulması Uygun nitelikli havalandırma koşullarının sağlanması Görsel konfor koşullarının sağlanması Gürültü, kirlilik ve kötü kokuların denetlenmesi Uygun akustik koşulların sağlanması Zehirli madde içeren malzemelerin kullanılmaması Sosyal ve kültürel etkinlikler için alanlar oluşturulması Ulaşım koşullarının sağlanması
Sosyo-Ekonomik, Kültürel ve Politik Gerçeklerin Gözetilmesi	Toplumların sosyal ve ekonomik gerçeklerinin anlaşılması Toplumsal çeşitliliğin korunması Kültürel çeşitliliğin korunması ve zenginleştirilmesi Toplumsal gereksinim ve isteklerin anlaşılması Toplumların kendi yaşam ortamlarının oluşturulma sürecine etkin katılımlarının sağlanması

**Çizelge 3.** Yeşil binalarda temel tasarım hedefleri ve ilkeleri (Sarkınç 2006)

Yeşil binalarda yapılan araştırmalar, binaların yeşil bina kriterlerine göre tasarlanması ve kullanılması durumunda, geleneksel yapım şekliyle tasarlanmış ve kullanılan ortalama binalara göre; enerji kullanımında % 24 ile % 50 arasında, CO<sub>2</sub> emisyonlarında % 33 ile % 39 arasında, su tüketiminde % 30 ile % 50 arasında, katı atık miktarında % 70 oranında, bakım maliyetlerinde ise % 13 oranında düşüş olacağını göstermektedir (Erten 2011).

### Bina Enerji Performansını Etkileyen Tasarım Parametreleri

Enerji tüketiminin düşürülmesi için binaların mimari tasarım aşamasında alınan kararlar büyük önem taşımaktadır. Çevresel dış etmenler (topografya, iklim koşulları vb.) ve yerleşme ölçeğindeki binanın yeri, yönlendirilmesi, formu,

komşu bina aralıkları ve yükseklikleri, bina kabuğu gibi etmenler mimari tasarım aşamasında binalardaki enerji etkinliğini artırmada belirleyici unsurlar arasındadır. Mimari tasarım

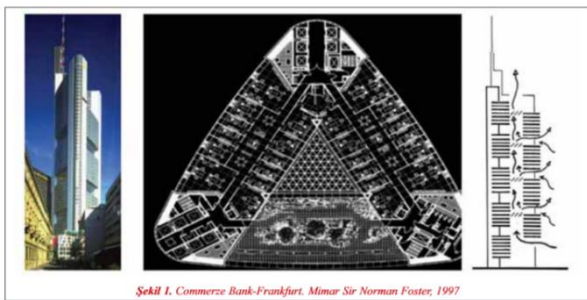
ve değerlendirme aşamasında korunma ve faydalanma bağlamında göz önüne alınması gereken başlıca etmenler çizelge 4'de açıklanmaktadır.

BİNA ENERJİ PERFORMANSINI ETKİLEYEN TASARIM PARAMETRELERİ	
ÇEVRESEL DIŞ ETMENLER	YERLEŞME VE BİNA ÖLÇEĞİNDEKİ ETMENLER
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ TOPOĞRAFYA</li> <li>➤ İKLİM KOŞULLARI                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• HAVA SICAKLIĞI</li> <li>• GÜNEŞ</li> <li>• NEM</li> <li>• RÜZGÂR</li> </ul> </li> <li>➤ DOĞAL ÇEVRE ÖRTÜSÜ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ YAKIN ÇEVREDEKİ YAPILAŞMA</li> <li>➤ BİNANIN YERİ</li> <li>➤ BİNA ARALIKLARI VE YÜKSEKLİKLERİ</li> <li>➤ BİNA YÖNLENDİRİLMESİ</li> <li>➤ BİNANIN FORMU</li> <li>➤ BİNA KABUĞUNUN ÖZELLİKLERİ</li> <li>➤ DOĞAL HAVALANDIRMA</li> <li>➤ GÜNEŞ KONTROL ELEMANLARI</li> <li>➤ DOĞAL HAVALANDIRMA</li> <li>➤ MEKANLARIN BAKTIĞI YÖN</li> <li>➤ PEYZAJ ÇALIŞMALARI</li> </ul>

Çizelge 4. Bina Enerji Performansını Etkileyen Tasarım Parametreleri Çizelgesi

Örneğin Sir Norman Foster tarafından tasarlanan Frankfurt Commerzbank Binası 1997 yılından beri kullanılmaktadır. Hibrit sisteme sahip 53 katlı binanın, 4 kat yüksekliğindeki orta atriumu doğal havalandırma bacası görevini yapmaktadır. Doğal havalandırma ve aydınlatma sayesinde %50 daha az enerji tüketilmektedir

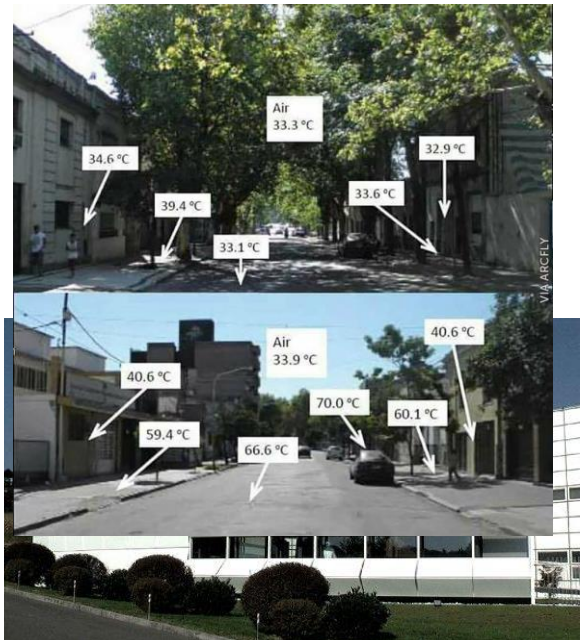
yerleşimiyle yapılan peyzaj çalışmasıdır (şekil 2).



Şekil 1. Commerz Bank-Frankfurt, Mimar Sir Norman Foster, 1997

(şekil 1.).Şekil 1. Frankfurt Commerzbank binası (Şahmalı 2011)

Aynı sıcaklık değerine sahip iki farklı yerleşkede peyzaj elemanlarının hissedilen sıcaklık üzerindeki olumlu etkisi görülmektedir. Hava sıcaklığının ortalama 33 derece olduğu farklı iki alanda hissedilen sıcaklık değerlerindeki farklılığın sebebi doğru ağaç cinsi tercihi ve



Şekil 2. Peyzaj elemanlarının sıcaklık üzerindeki etkisi (2018)

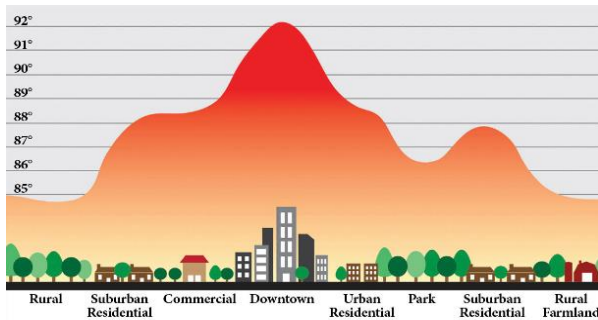
Kentsel bölgelerdeki rüzgâr hızı, kırsal bölgelerdekine oranla %25 daha azdır. Ancak yüksek binaların arasında oluşan bölgesel kanyonlarda yüksek rüzgâr hızları oluşabileceği unutulmamalıdır (Utkutuğ, 2000). Yoğun kent içi yerleşimlerinde, binaların yerleşim dokusu, ölçekleri ve birbirleriyle fiziksel etkileşimlerine dikkat edilmelidir. Binalar arası hava hareketleri, gölgelendirme, cephe ve çatılardan yansıyan güneş ışığı gibi ısıl etkenler de tasarımda göz önünde bulundurulmalıdır. Yoğun yerleşim yerlerinde meydana gelen sıcaklık artışından dolayı binalarda tüketilen enerji miktarı da artmaktadır (Şekil 3).

**Şekil 3.** Yerleşme dokusunun bina çevresindeki iklim üzerinde etkisi (Lechner 1991)

Mevsimsel periyotlara göre üstlendikleri görevleri değişkenlik gösteren bina kabuğundaki kepenk, şerit perde, hareketli duvarlar ve cam film uygulaması ile binanın enerji performansı artırılabilir. Binaların enerji performansında bina kabuğunun, ısı tutuculuğu, hava sızdırmazlığı, pencerelerin yeri ve malzemesi, camların rengi gibi özellikler büyük önem taşımaktadır. Bina kabuk elemanları tasarlanırken, o yerin iklim şartları göz önünde bulundurularak malzeme seçimi yapılmalıdır (şekil 4).

**Şekil 4.** Bina kabuğu (Dancing Building Facades 2018)

Binalarda havanın basınç ve sıcaklık farkından dolayı oluşturduğu hava hareketi doğal

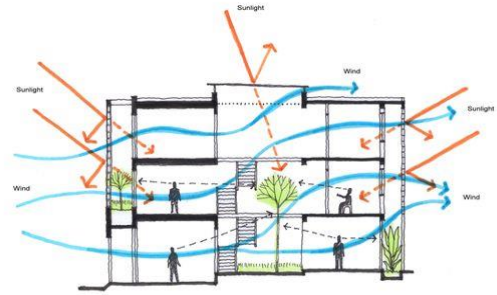


havalandırmayı meydana getirmekte, söz konusu hava hareketinin sağlanabilmesi için bina kabuğundaki hava giriş ve çıkışının sağlanacağı

**Şekil 6.** Diyarbakır Yenişehir Belediye Binası

(Arkiv 2018)

noktalara doğru karar verilmelidir. Bina kabuğundaki açıklıklar, doğal havalandırma etkinliğini artırılabilir (şekil 5).



**Şekil 5.** Doğal havalandırma ( Nature Ventilation 2018)

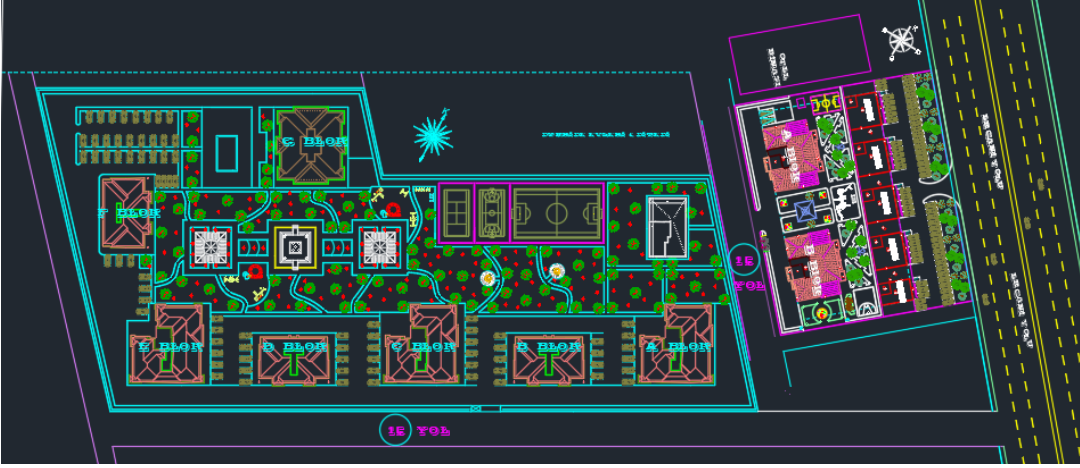
Isıtma ihtiyacının olmadığı dönemlerde güneş ışınımının olumsuz etkilerinden korunma noktasında cephede güneş kontrol elemanları ile önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemler



güneş kırıcı elemanlar ile sağlanabileceği gibi bina kabuğunun dokusu ile de alınabilir. Örneğin sıcak iklim bölgesinde batı cephesindeki pencerelerde kullanılacak güneş kırıcılar gibi gölgeleme elemanları binanın serinlemesine yardımcı olacaktır. Bunun sonucunda ise soğutma yüklerinde düşüş söz konusu olacaktır.(Şekil 6).

**Alan çalışması**

Yukarıda anlatılan enerji etkin tasarım kriterleri doğrultusunda Diyarbakır ilinde bulunan yedi ve iki bloktan oluşan iki komşu parseldeki sitelerin (şekil 7) Enerji Kimlik Belgeleri mimari tasarım parametreleri açısından incelenmiş ve değerlendirilmiştir.



Şekil 7. Bina Yerleşimleri

7 bloktan oluşan Site 1'in EKB'leri 24.12.2013 tarihinde ilgili belediyesince onaylanmıştır. Sitenin EKB'deki tüketim sınıfları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 1.).

Tablo 1. Site 1'in tüketim sınıfları

ENERJİ KULLANIM ALANI	A BLOK	B BLOK	C BLOK	D BLOK	E BLOK	F BLOK	G BLOK
ISITMA	C	C	C	C	C	C	C
SIHHİ SICAK SU	D	D	D	D	D	D	D
SOĞUTMA	D	F	D	D	D	D	D
HAVALANDIRMA	-	-	-	-	-	-	-
AYDINLATMA	B	B	B	B	B	B	B
TOPLAM	C	C	C	C	C	C	C

Site 1 içerisindeki blokların yerleşimleri incelendiğinde konum, baktığı yönler, peyzaj etkisi, binalar arası mesafeler, gölge analizleri, güneşlenme durumları, hâkim rüzgâr yönleri, cephe sistemleri; her bir blok farklı özelliklere sahip olmasına rağmen (B Bloğun soğutma kapasitesi hariç) tüm enerji tüketim sınıflarının aynı çıkması, aynı mekân organizasyonu ve yönlendirmesine sahip olmasına karşın B ve D Bloklarının EKB'lerinin soğutma kategorisinde farklı çıkması, D ve F Bloklarının soğutma tüketim sınıflarının da aynı olması, sitedeki binaların kuzeyle yaptıkları açı hepsi için aynı olmamasına rağmen, EKB'deki aydınlatma enerji tüketim sınıfının tüm binalarda B sınıfı olduğu da dikkat çekmektedir.

Vaziyet planı incelendiğinde peyzaj çalışmasının yapıldığı görülmektedir. A, B, C, D, E bloklarının salon, oturma odası ve mutfak

mekânlarının bulunduğu geniş cephelerinin güneydoğu yönündeki 15m'lik yola yönlendirildiği görülmektedir. F ve G bloklarının ise kuzeydoğu ve güneydoğu yönündeki geniş cepheleri ise site içerisindeki yeşil alana yönlendirilmiştir. B ve D blokları yol asfalt kaplamasının etrafa yaydığı sıcaklıktan olumsuz etkilenmekte ancak F blok bitki ve su elemanlarının serinletici etkisi altındadır. Ancak bu blokların EKB'lerindeki soğutma sınıfına bakıldığında D ve F bloklarının D, B bloğunun ise F sınıfında yer aldığı görülmektedir.

Site 2'nin vaziyet planına bakıldığında ise A ve B blokları arasında ortalama 20 m mesafe olduğu görülmektedir (Şekil 4.11). A ve B bloklarının önünde yer alan plazalar ise ilk dört katın önünde engel oluşturmaktadır. A ve B blokları ve plazalar arasında yeterli mesafe bulunmaması, A bloğunun kuzey doğu yönünde otel binası ile de



yakın mesafede yerleştirilmiş olması, doğal havalandırma ve güneş ışınımından faydalanma noktasında bina enerji performansını olumsuz yönde etkilemektedir. A bloğunun sahip olduğu

bu dezavantajın EKB tüketim sınıflarını değiştirmedeği görülmektedir. Site 2'nin EKB'deki tüketim sınıfları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 2.).

**Tablo 2.** Site 2'nin tüketim sınıfları

ENERJİ KULLANIM ALANI	A BLOK	B BLOK
ISITMA	B	B
SIHHİ SICAK SU	C	C
SOĞUTMA	C	C
HAVALANDIRMA	-	-
AYDINLATMA	A	A
TOPLAM	C	C

Daha önce incelenen sitenin komşu parselinde bulunan sitedeki iki blok, konum olarak Site 1'deki F Bloğuyla aynı konumdadır. Kuzey yönünde otel, doğu kısmında ise iş merkezleri yer almaktadır. Site 1'deki F Blokla aynı özelliklere sahip olan A ve B bloklarının enerji tüketim sınıflarının

Isıtma için C'den B'ye  
sıhhi sıcak su için D'den C'ye  
soğutma için D'den C'ye  
aydınlatma için B'den A'ya

değiştirdiği toplamda C olarak aynı kaldığı dikkate alındığında, EKB için çevresel faktörlerin değil de bina yalıtım ve mekanik

Bina enerji performansını etkileyen doğal çevre (topoğrafya, iklim koşulları, doğal çevre örtüsü) etmenleri ile yerleşme ve bina ölçeğindeki (bina yakın çevresindeki yapılaşma, binanın yeri, yönü, formu, kabuk özellikleri, doğal havalandırma, güneş kontrol elemanları peyzaj çalışması) etmenler göz önünde bulundurulduğunda, EKB'deki enerji tüketim miktarında düşüşler sağlanacağı dolayısıyla binaların daha üst enerji tüketim sınıflarında belgelendirilebilecekleri aşikârdır.

Enerji ihtiyacının gün geçtikçe artması, fosil kaynaklı enerji kaynaklarının aşırı tüketimi ve

sistemlerinin performansının öncelikli olduğu görülmektedir. İncelenen sitelerde, BEP-TR enerji performans hesaplamalarında: ısı yalıtım malzemelerinin kalınlığı, mantolama, bina ısınma şekli ve yakıt türü, yapay aydınlatma elemanları ve tasarruflu olup olmamaları, mekanik havalandırma sistemi, bina dış kabuğundaki açıklıklar vb. kriterlerin bina enerji tüketim sınıflarının belirlenmesinde büyük orana sahip olduğu, fakat enerji performansını etkileyen yerleşme ve bina ölçeğindeki parametrelerin performans hesaplamalarında tüketim sınıfını değiştirecek kadar etkili olmadığı anlaşılmaktadır.

bunun sonucunda ortaya çıkan çevre kirliliği problemi ülkeleri enerji etkin binalar inşa etmeye ve yenilenebilir enerji kaynaklarını daha etkin kullanmaya yönlendirmiştir. Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji tüketiminin çok önemli bir oranı, kullanıcı konforunu sağlamak üzere ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır. Bu alanlarda binaların enerji performansı artırılarak, EKB'deki enerji tüketim sınıfının daha üst seviyelere çekilmesi mümkündür. Bu da binaların enerji tüketimlerinin azalmasını ve yüksek miktarda enerji tasarrufu elde edilmesini sağlayacaktır. Doğal çevre etmenlerinin avantajları kullanılarak yapılan bina tasarımlarının, enerji verimliliğini artıracığı açıktır.

Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de enerjinin büyük bir bölümü bina sektörü tarafından tüketilmektedir. Günümüzde enerji

## Sonuçlar ve Tartışma

kaynaklarının sınırlı olması ve ülkelerin enerji ihtiyacının giderek artması binaların enerji etkin tasarım prensiplerine göre tasarlanmalarını zorunlu kılmaktadır. Ülkemizin enerji konusunda uygulayacağı enerji verimliliği çalışmaları ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırma politikaları kapsamında binaların enerji etkin tasarımı; binalarda enerji tüketiminin azaltılmasında kilit rol oynayacaktır.

Enerji performansı yüksek binalar elde edebilmek için, bina enerji performansını etkileyen çevresel dış ve yerleşme ölçeğindeki tasarım parametrelerine dikkat edilmelidir. Binanın bulunduğu yerin sahip olduğu mikroklimatik ortam şartlarından faydalanma ve korunmanın sağlanabildiği bina üretimlerinde bina enerji performansını artırmak mümkündür. Binaların tasarım aşamasında, ekolojik kriterlerin tasarıma uygun olarak entegre edilmesi enerji tasarrufuna büyük oranda katkı sağlayacağı bir gerçektir.

Tasarım sürecinin başından itibaren mimari çözüm alternatiflerinin, denenerek seçim yapılmasını sağlayacak nitelikte bir yaklaşımın olması, farklı uygulama ve sonuçlarının görülmesine olanak verecek şekilde BEP-TR'nin düzenlenmesi enerji performansı yüksek binalara ulaşılmasını önemli ölçüde kolaylaştıracaktır.

Mimari tasarım aşamasında program tarafından bina tasarım ve malzeme alternatiflerinden enerji verimliliği en yüksek seçeneğin bulunmasının ardından binalara **ön sertifika** verilmelidir. Enerji etkinliği açısından yeterli şartların sağlandığını gösteren **ön sertifika** alındıktan sonra uygulama aşamasına geçilmelidir.

BEP-TR performans hesap sonuçlarında, "C" sınıf aralığı 80-99 kWh/m<sup>2</sup>.yıl olup, bina tasarım ölçeğindeki parametrelerin performans hesaplamalarında tüketim sınıfına etkisi anlaşılabilir. Enerji tüketim sınıfının C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> ve C<sub>3</sub> gibi sınıf aralığında kategorize edilmesi halinde, söz konusu parametrelerinin hesaplamalarda etkisi daha net görülebilir.

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ne göre Türkiye 5 ısı bölgesine bölünmüştür. Ancak birbirinden farklı iklim özelliklerine sahip, yedi

farklı coğrafi bölgeden oluşan ülkemizde EKB'nin bölgelerin yöresel özelliklerine göre detaylandırılması gerekmektedir. Türkiye'nin dünya haritasındaki yeri, iklim bölgeleri, coğrafi bölgelerin yöresel özellikleri gibi hususlar gözden kaçırılmayarak, EKB binanın bulunduğu iklim bölgesine göre farklılaştırılmalıdır. İklimsel elemanların, bina enerji tüketimindeki olumlu ve olumsuz etkileri hesaplamalarda büyük oranda dikkate alınmalıdır. BEP-TR veri girişine, binada yaşayan kişi sayısı, havalandırma miktarı, çevresel ve bina ölçeğindeki parametrelerin de eklenmesi performans sonuçlarının gerçeğe daha yakın olmasını sağlayacaktır.

Binalarda enerji etkin tasarım yapılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması için devlet tarafından teşvik edici adımlar atılmalıdır. Yıllık güneşlenme miktarının fazla olduğu iklim bölgelerinde, sıcak su temininde güneş enerjisi kullanılarak, EKB'deki sıhhi sıcak su tüketim sınıfının yükselmesi ile aynı zamanda enerji tasarrufu da sağlanabilir.

Enerji performansı yüksek binalar oluştururken yerleşme ölçeği ve bina ölçeğindeki koşullar; enerji etkinliği ve ekonomiklik açısından analiz edilerek, avantajlar binaya kazandırılmalı ve binanın enerji tüketimi azaltmaya yönelik önlemler alınmalıdır. Bina tasarım aşamasında bina enerji performansını artıran tasarım parametrelerinin doğru analiz edilip projeye aktarılması sonucunda binalar enerji performansı yüksek, ekonomik ve konforlu hale dönüştürülebilir. Bu nedenle BEP-TR enerji performansı hesaplama yönteminde, bina enerji tüketim sınıfı belirlenirken, tasarım aşamasında alınan kararlar da hesaplamalara dâhil edilmelidir. Ticari kaygılardan dolayı binaların güneş faktörü ihmal edilerek yönlendirilmesi, binalar arasında yeterli mesafe bırakılmaması, iklimle uyumsuz bina formu vb. gibi durumların önüne geçilmesi amacıyla tasarım ve fizibilite aşamasında alınan kararların denetlenebilmesi için, tasarım kararlarının da enerji verimliliği açısından BEP-TR'de farklı senaryolarla değerlendirilebilmesine olanak sağlanmalıdır.

Genellikle binaların yönlendirilmesinde imar durumundaki yol aksları etkili olmaktadır. Kent imar planları hazırlanırken bina aralıkları ve konumları, iklim, güneşlenme, yönlenme, hava sirkülasyonu gibi ekolojik konulara dikkat edilerek yol aksları oluşturulmalıdır.

EKB, binaların asgari mantolama ile sadece “C” sınıfına uygun olmalarıyla iskan ruhsatı alınabilmesine olanak sağlayan formalite bir

belgeden çıkıp, enerji performansı yüksek binalar üretmeyi amaçlayan, denetlenebilir, bina çevresel kriterlerinin de büyük oranda hesaplamalarda göz önünde bulundurulduğu bir sertifika niteliği taşımaktadır. Enerji verimliliği ile ilgili çalışmalara geç başlanılmış olmasına rağmen Avrupa ülkeleriyle benzer bir seviyeye ulaşan ülkemizde yazılım ve hesaplama metodu ile ilgili sorunları gidererek binaların daha doğru bir şekilde sertifikalandırılması sağlanmalıdır.

## Kaynaklar

- Anbarcı, M., Giran, Ö., Demir, İ.H., 2011. Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri ile Türkiye’deki Bina Enerji Verimliliği Uygulaması. 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, Bursa, 158-175.
- Aydın, Ö., Saylam Canım, D., 2017. Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi (BEP-TR1)’in Kullanılabilirliğinin ve EKB Uygulamasının Değerlendirilmesi. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 2(2), 101-113.
- Bayram, M., 2010. Sunumlar: Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü Enerji Verimliliği Dairesi Başkanlığı, Ankara <http://www.enerjikimlikbelgesi.net/wpcontent/themes/ecogreen2/BEPHesaplamaYontemi.pdf> (Ziyaret Tarihi 06.04.2017).
- Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (27778 mükerrer), 2010. Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi, T.C. Resmi Gazete.
- Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings, Official Journal of the European Communities, 04.01.2003.
- Erten, Duygu, 2011. Yeşil Binalar. Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları – V, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Bölgesel Çevre Merkezi. Ankara. <https://recturkey.files.wordpress.com/2017/02/yesil-binalar.pdf> (Ziyaret Tarihi 13.01.2017).
- Kaplan S. 2018. Enerji Kimlik Belgesi Uygulamasının Bina Enerji Performansını Etkileyen Enerji Etkin Tasarım Parametreleri Bağlamında Değerlendirilmesi Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır
- Lechner, N., 1991. Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects. John Wiley & Sons, Canada, 85, 215
- Önal, S., 2015. Binaların Enerji Performansının belgeden çıkıp, enerji performansı yüksek binalar üretmeyi amaçlayan, denetlenebilir, bina çevresel kriterlerinin de büyük oranda hesaplamalarda göz önünde bulundurulduğu bir sertifika niteliği taşımaktadır. Enerji verimliliği ile ilgili çalışmalara geç başlanılmış olmasına rağmen Avrupa ülkeleriyle benzer bir seviyeye ulaşan ülkemizde yazılım ve hesaplama metodu ile ilgili sorunları gidererek binaların daha doğru bir şekilde sertifikalandırılması sağlanmalıdır.
- Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yöntem Önerisi: Mülteci Ve Sığınmacılar İçin Kabul Ve Barınma Merkezi Binası Örneği. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 139-143.
- Sakıncı, E., 2006. Sürdürülebilirlik Bağlamında Mimaride Güneş Enerjili Etkin Sistemlerin Tasarım Ögesi Olarak Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-9.
- Şahmalı, A. E., 2011. Kamusal Yapılarda Güneş Enerjisinin Pasif Kullanımı ve Tasarıma Yansımaları. *Tesisat Mühendisliği*, Sayı 126, 75.
- Ulukavak Harputlugil, G., 2012. “Assessing the Accuracy of National Calculation Methodology of Türkiye (BEP-tr) by Using BESTEST”, ICONARCH-I, Proceedings of International Congress of Architecture-I, 15-17 November, Konya, Türkiye, pp. 66-75.
- Utkuğ, G., 2000. Yeni Bin Yıla Girerken Sürdürülebilir Bir Gelecek İçin Ekolojik ve Enerji Etkin Hedefler ile Bina Tasarımı ve İşletimi. Ulusal Enerji Verimliliği Kongre Kitabı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 148.
- Yaka, İ.F., Önal, S., Koçer, A., Güngör, A., 2016. Binalarda Enerji Performansının Belirlenmesinde Farklı İllerin Karşılaştırılması. *Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi*, Cilt 3: Sayı:2, 127-135
- Yasan, A.S., 2011. Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 129-132, 19.
- Yetkin, E.G., 2014. Mevcut Yapılar Kapsamında Yeşil Bina Sertifika Sistemleri Enerji Kriterlerinin Belirlenmesi İçin LEED, BREEAM VE DGNB Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 145-155.

<http://www.arkiv.com.tr/proje/diyarbakir-yenisehir-belediye-binasi/6335?lang=en>  
<http://bayareamonitor.org/summer-in-the-city-seeking-relief-from-urban-heat-islands/>  
Dancing Building Facades. 2018.  
<https://www.trendhunter.com/trends/dancing-kinetic-architecture> (Ziyaret Tarihi 10.04.2018).

Peyzajın Sıcaklığa Etkisi. 2018.  
<https://www.superhaber.tv/agaclarin-sehirlerde-hava-sicakligina-yaptigi-muhtesem-etki-haber-59878> (Ziyaret Tarihi 23.04.2018).

## Evaluation of Energy Identity Certificates in terms of Energy efficient Design Criteria

### Extended abstract

*Within the scope of "Energy Performance Regulations at Buildings" on 05.12.2008, as of 01.01.2011 the application of energy identity certificate started in the buildings. The Energy Identity Certificate is a document containing at least the building's energy requirement and energy consumption classification, insulation properties and information on the utilization of heating and / or cooling systems and is regulated by using the BEP-TR software. The classification of this document is categorized according to the amount of consumption per m<sup>2</sup> and the average of values such as heating, cooling, lighting and Greenhouse gas emissions are taken.*

*The purpose of the BEP Regulation is; the classification of the calculation of the primary energy and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions and the determination of the performance criteria and the implementation principles of the building by taking into account the external climatic conditions, indoor requirements, local conditions and cost effectiveness. When BEP-TR and certificate results are examined, it has been seen that energy efficient design criteria have not been effective in the role and importance of increasing energy gains in BEP-TR. For example, gains as utilization or protection from climatic conditions such as sunlight, measures on building facades, natural ventilation facilities, grey water usage, orientation, landscaping in settlement and building scale are ignored when calculating.*

*In this study, it is observed that although the energy efficient design decisions are important in determining Energy identity certificate it is seen that only the materials and the degree of building with north and the obstructions are determinative when analyzing different building settlements in BEP-TR software. However, the building cannot be introduced to the system so the results of the BEP-TR program comparing the existing building with the building that it created. As the program does not fully apply all the features of the existing building to the virtual building, it cannot be expected to be calculated in some way.*

*Today, the limited availability of energy resources and the increasing need for energy in the country reveal the necessity of energy efficient design of buildings. As a large part of the world in the energy sector as in Turkey is consumed by buildings.*

*Therefore, in order to minimize energy consumption, energy efficient buildings have a very important place. The most effective way to reduce energy consumption is to design energy efficient buildings while still in the design phase. Energy efficient building design will enable energy consumption classes in building EKBs to be upgraded so that buildings with good quality, health, sustainability and minimum energy expenditures and user comfort can be achieved with the right decisions made during the design phase. This study aims to contribute to the development of a common methodology to calculate the energy performance of BEP-TR's buildings related to energy efficiency of the buildings.*

**Keywords:** *Energy Identity Certificate, energy efficient design, Building Energy Performance*



## Düşük dayanımlı betona sahip betonarme kısa kolonların kesme etkileri altında davranışlarının incelenmesi

**Mehmet ŞEKER**

DSİ 10. Bölge Müdürlüğü, Diyarbakır  
mseker322@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9162-4684

**İdris BEDİRHANOĞLU\***

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır  
New York University Abu Dhabi, Engineering Faculty, UAE.  
idris.bedirhanoglu@nyu.edu, ORCID: 0000-0001-6852-3041

Geliş: 15.02.2019, Kabul Tarihi: 01.03.2019

### Öz

Topraklarının önemli bir bölümü yüksek derecede deprem tehlikesi riskine sahip olan ülkemizde yapı inşaat kusurları da yüksek oranlarda mevcuttur. Deprem sırasında binanın hasar görmesinde etkin rol oynayan kusurların başında kısa kolon kesme dayanımı yetersizliği gelmektedir. Bu çalışmada bu tür zayıflıklara sahip kısa kolonlarının davranışları laboratuvarında üretilen temsili numunelerle incelenmiştir. Kolonların davranışının adım adım izlenip hasar gelişiminin ne şekilde olduğunu takip edebilmek amacı ile yükleme statik ve monotonik artan bir şekilde uygulanmıştır. Sonuç olarak üretilen numunelerin beklendiği gibi kesme hasarı ile gevrek bir şekilde göçtüğü görülmüş ve deneyler ile bu tür kısa kolonlar yatay yükler altındaki davranışları açıklanmıştır. Söz konusu kolonlar elde edilen bilgilerin bu tür kolonların güçlendirilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kısa kolon; betonarme; kesme göçmesi;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Ülkemizin aktif deprem kuşağında yer alması ve yapılarımızın yetersiz bir şekilde inşa edilmesi olası bir depremle beraber can ve mal kaybı bakımından ağır neticeler doğurmaktadır. Yapı yetersizliklerinin en önemli ve can alıcı noktası yetersiz beton kalitesi ve yetersiz sargılamadır. (Bedirhanoglu vd., 2010; Bedirhanoglu, 2014).

Yetersiz beton dayanımı ve yetersiz sargılama betonarme elemanların davranışını tamamı ile değiştirmektedir. Söz konusu zayıflıklara sahip betonarme elemanların davranışlarının incelenmesi bu tür elemanlara sahip binaların performanslarının belirlenmesinde önemli rolü olacağı düşünülmekte ve bundan dolayı bu çalışmada da düşük dayanımlı beton ve seyrek etriyeye sahip elemanların davranışı konu edilmiştir.

Betonarme kısa kolonların monoton veya tekrarlı yükler altında davranışı ile ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır (Maruyama vd., 2001; Harmon, 2002; Furuta vd., 2003; Ilki vd., 2006; Bedirhanoglu, 2009). Bu çalışmada kesme kritik kısa kolonların sabit eksenel yük ve monotonik artan yatay yükler altındaki davranışları incelenmiştir.

## Deneysel çalışmalar

Deneysel çalışma kapsamında yaklaşık tam ölçekli alt kat kolonu, üst kat kolonu ve kiriş parçasından oluşan temsili numuneler kullanılmıştır. Numuneler mevcut zayıf yapıları temsil etmek üzere düşük dayanımlı beton ve yetersiz etriyeye sahip olacak şekilde üretilmiştir.

## Numune üretimi

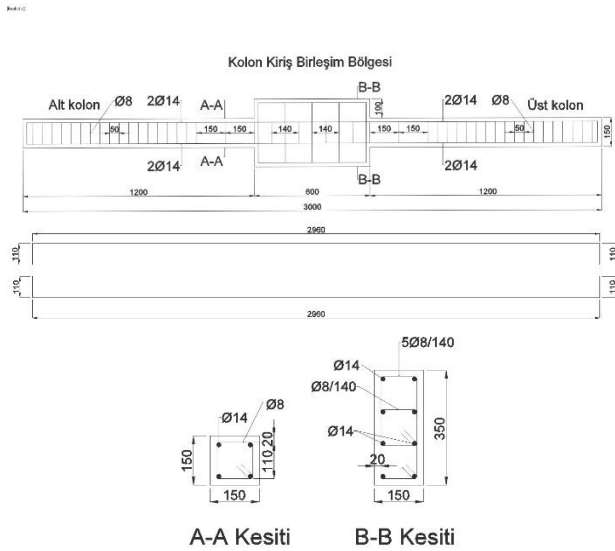
Numune donatı detayları ve kalıplar şantiye ortamında üretilerek laboratuvara getirilmiştir. Donatı olarak hem boyuna hem de etriye için S420 kullanılmıştır. Donatı detayları Şekil 1'de gösterilmiştir. Donatı detay çizimlerinden görüldüğü gibi DS-O (Deficient Specimen-

Original) numunesinde etriye aralığı 150 mm ve CCRS-O (Code Compile Requirement Specimen-Original) numunesinde etriye aralığı 75 mm olarak seçilmiştir. İlk numunede etriye aralığı yönetmeliğe göre eksik ve ikinci numunede etriye aralığı yönetmeliğe göre yeterli düzeyde olacak şekilde hesaplanarak söz konusu etriye aralıkları seçilmiştir. Numunelerin Şekil 1 ve Şekil 2'de verilen detaylara uygun olarak donatı ve kalıpları hazırlandıktan sonra laboratuvar ortamında beton hazırlanıp dökümü gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi malzeme deneyleri için silindir numune örnekleri alınmıştır. Donatı olarak kullanılan  $\phi 8$  ve  $\phi 14$  mm'lik donatı çeliğinden de yeterli sayılarda örnekler alınmıştır. Her iki numunede de toplam 4 adet boyuna donatı kullanılmıştır. Bu boyuna donatı miktarı %2.7 boyuna donatı oranına denk gelmektedir. Görüldüğü gibi bu donatı oranı yönetmeliklerde öngörülen en küçük ve en büyük değerler arasında kalmaktadır.

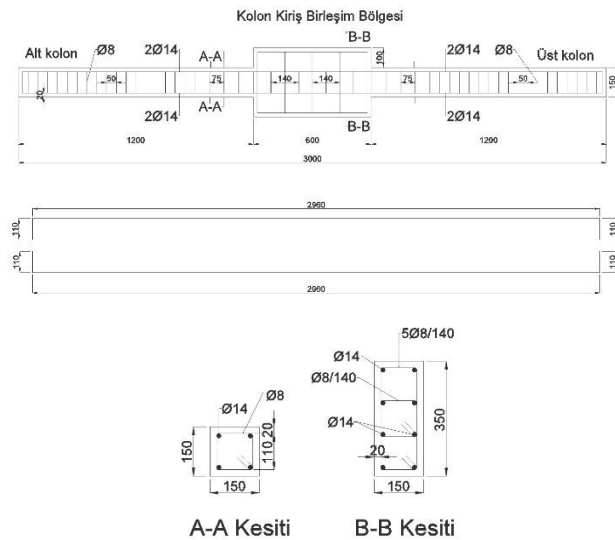
Şekil 4.a'da bu çalışmadaki deney düzeneği görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere numune gerçekte olduğu gibi düşey değil yatay bir şekilde yatırılarak test edilmiştir. Bu durumda kolon düşey yükü yatay olarak etki ettirilmektedir. Hem eksenel yük hem de yatay yükü yüklemek için kapalı bir çerçeve kullanılmıştır. Numune Şekil 5'te görüldüğü gibi sabit eksenel yük ve monoton artan yatay yüke maruz bırakılmıştır. Numune toplamda 3 metre uzunluğunda olmasına rağmen kısa kolon davranışını temsil etmek üzere mesnetler Şekil 4.b'de görüldüğü gibi kirişe 30 cm mesafede yerleştirilmiştir.

Eksenel yük için 200 kN kapasiteli hidrolik kriko kullanılmıştır. Eksenel yük miktarının kolon eksenel yük kapasitesinin yaklaşık %30'una karşılık gelen 74 kN ( $0.3bh_f_c$ ) civarında sabit olması sağlanmıştır. Bu yükün deney boyunca aynı değerde kalmasını sağlamak için, deney sırasındaki yük azalması veya artışı 74 kN'a göre sürekli takip edilerek gerekli müdahaleler yapılmıştır. İlk olarak eksenel yükleme tamamlandıktan sonra numunenin yatay yüklemesine başlanmıştır ve her 2 kN yükleme artışında deneye çok kısa bir ara verilip bütün ölçümler alınmakta ve hasar fotoğrafları

çekilmektedir. Yüklemeye bu şekilde monotonik olarak devam edilmiştir. Numunenin yatay yük kapasitesine yaklaşıldığında deneye ara verilmeden numune sürekli bir şekilde itilerek yük kapasitenin çok küçük değerlere düşmesine kadar deney devam ettirilmiştir. Bu sırada deformasyon ve yük ölçümlerinin 125 milisaniyede bir olmak üzere otomatik olarak alınması sağlanmıştır. Dolayısı ile ani göçme sonucu yükün aniden düşmesi ve deformasyonların hızlı gelişmesi gibi durumlardaki ölçümler de alınabilmektedir.



Şekil 1. DS-O numunesine ait donatı detayı



Şekil 2. CCRS-O numunesine ait donatı detayı

Şekil 5'te numunenin ölçüm sistemi görülmektedir. Görüldüğü gibi ölçümler hem

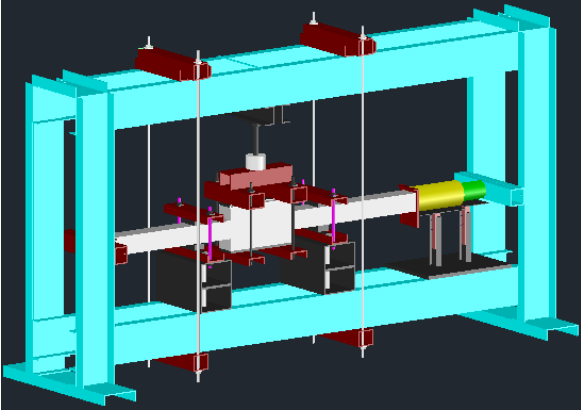
potansiyometrik cetvel kullanılarak hem de referans noktaları kullanılarak yapılmıştır. Potansiyometrik cetvel okumaları data logger cihazı ile bilgisayara otomatik olarak aktarılmaktadır. Point ölçümleri ise bu iş için geliştirilen ve çoğunlukla whitmoregage olarak adlandırılan hassas bir dijital cetvel ile alınmıştır. Şekil 5'te görüldüğü gibi her bir kolonun moment-eğrilik ilişkisini elde etmek için 2 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır.

Numunelerin yükleme noktasındaki deformasyonunu ölçmek için 100 mm kapasiteli 2 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Kısa kolonların kayma deformasyonlarını ölçmek için 4 adet 25 mm kapasiteli potansiyometrik cetvel ve 16 adet point kullanılmıştır. Donatılardaki şekil değiştirmeleri ölçmek için 4 adet şekil değiştirme ölçer hem boyuna hem de enine donatıya yerleştirilmiştir. Şekil 6.a'da görüldüğü gibi şekil değiştirme ölçerlerin yapıştırıldığı yüzeyler zımpara ile pürüzsüz hale getirilmiştir. Şekil 6.b'de görüldüğü gibi şekil değiştirme ölçerler beton dökümü sırasında sudan zarar görmemeleri için izole bant ile sarılmışlardır. Ayrıca kablonun gerinim pulundan kopmaması için kablo donatıya ince kablolar ile sabitlenmiştir.



Şekil 3. Beton dökümü



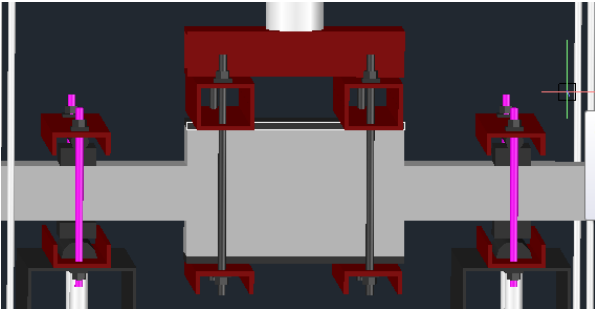


a)



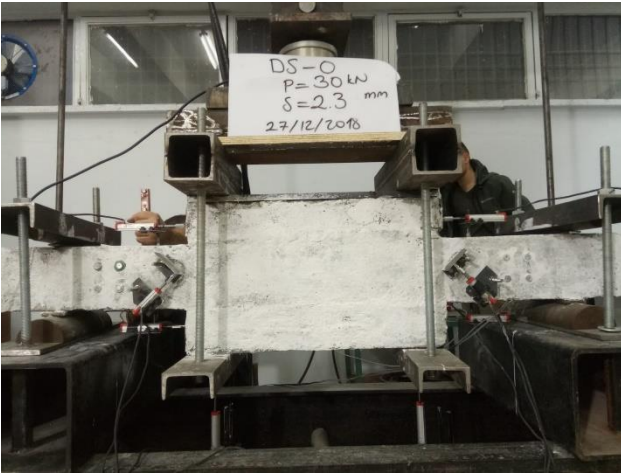
b)

Şekil 6. Donatı yüzeyine şekil değiştirme ölçerlerin yerleştirilmesi

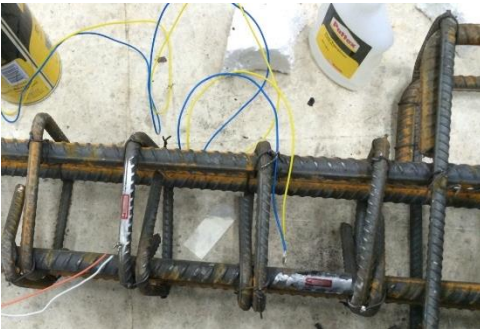


b)

Şekil 4. Deney düzeneği



Şekil 5. Ölçüm sistemi



a)

### Malzeme özellikleri ve deneyleri

Mevcut zayıf yapılardaki durumu temsil etmek üzere beton düşük dayanımlı olacak şekilde tasarlanmış ve betonun amaç dayanımı 10 MPa olarak belirlenmiştir. Düşük dayanımlı beton tasarımı yapılırken daha önce Bedirhanoglu 2009 tarafından yapılan çalışmalar esas alınmıştır. Tablo 1'de bu çalışmada kullanılan betonun karışım değerleri 1 m<sup>3</sup> beton için kg olarak verilmiştir. Beton üretimi yapıldıktan sonra numunelerin betonu dökülmüş ve aynı betondan silindir ve küp numuneler için örnekler alınmıştır. Üretilen kolonlar, silindir ve küp numunelere aynı kür koşulları uygulanmıştır. İlk üç gün ıslak çuval ve sulama uygulaması yapıldıktan sonra numuneler kalıplardan çıkarılmıştır. Numunelerin kuru ıslak çuval uygulaması şeklinde toplam 7 gün devam etmiştir. Daha sonra bütün numuneler deney gününe kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

Tablo 1. Beton karışım oranları

Malzemeler	Miktar (kg/m <sup>3</sup> )
Çimento	246
Su	222
7-15 mm Çakıl	451
Doğal Kum	619
Kırma Kum	721

Numunelerin üretiminin 41. gününde malzeme testleri yapılmıştır. Basınç deneyleri için Şekil 7.a'da görüldüğü gibi bir yükleme ve ölçüm sistemi kullanılmıştır. Şekil 7.b'de görüldüğü şekilde yerdeğiştirme ölçümleri hem numune üzerine hem de numune dışına yerleştirilen potansiyometrik cetveller ile yapılmıştır.



a)

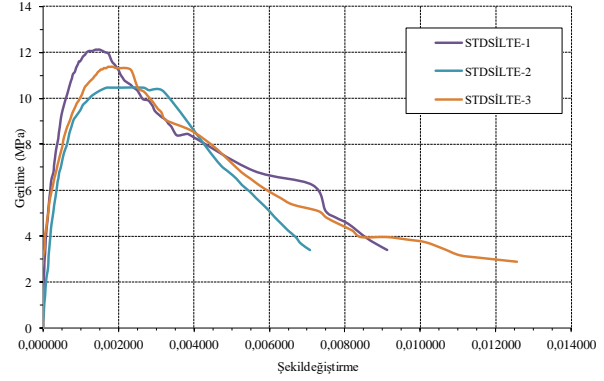


b)

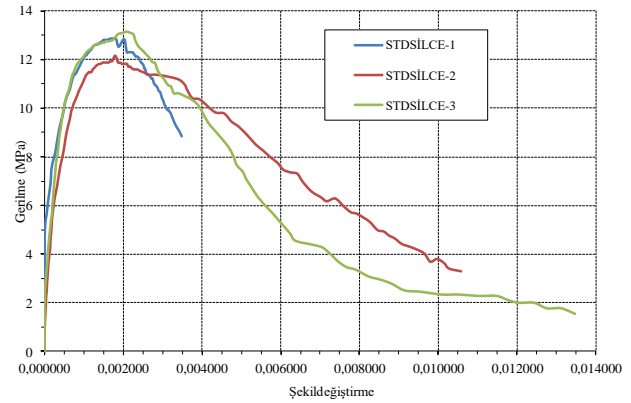
Şekil 7. Silindir basınç deneyine ait düzenek

Şekil 7'de gösterilen ölçüm düzeneği ile yük ve karşı gelen yer değiştirmeler bulunarak gerilme ve şekildeğiştirme değerleri kullanılarak her bir silindir numunesi için gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi elde edilmiştir. Şekil 8 ve 9'da sırası ile DS-O ve CCRS-O numuneleri için alınan silindir numunelere ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri verilmiştir. Tablo 2'de silindir numunelere ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkilerinden elde edilen

basınç mukavemeti değerleri verilmiştir. Malzeme deneyleri kapsamında betonlardan 15 cm'lik küp numuneler de üretilmiştir. Bu küp numunelere ait deney sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 8. Betonun standart silindir gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri-DS-O numunesinin betonu.



Şekil 9. Betonun standart silindir gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri-CCRS-O numunesinin betonu.

Tablo 2. Standart silindir basınç deneyi sonuçları

Standart silindir	Numune No	Basınç dayanımı $f'_c$ (MPa)	Ort. Basınç dayanımı $f'_{c,ort}$ (MPa)
DS-O	1	11.89	11.11
DS-O	2	10.28	
DS-O	3	11.16	
CCRS-O	1	12.61	12.48
CCRS-O	2	11.94	
CCRS-O	3	12.89	

Tablo 3. Standart küp basınç deneyi sonuçları

Standart silindir boyutları	Numune No	Basınç dayanımı $f'_c$ (MPa)	Ort. basınç dayanımı $f'_{c,ort}$ (MPa)
DS-O	1	13.47	12.50
DS-O	2	11.55	
DS-O	3	12.49	
CCRS-O	1	14.08	13.74
CCRS-O	2	13.09	
CCRS-O	3	14.04	

Beton çekme dayanımını belirlemek için ortalama 60 mm kalınlığında 150 mm çapında diskler kullanılarak disk yarma deneyleri yapılmıştır. DS-O numunesinde kullanılan beton için 5 adet CCRS-O numunesinde kullanılan beton için 4 adet disk numune üretilerek test edilmiştir. Testler Şekil 10'da verildiği şekilde yapılmıştır. Testler sonucunda elde edilen P yükünden betonun yarma çekme dayanımı Denklem 1 kullanılarak elde edilmiştir. Tablo 4'te disk yarma deney sonuçları özet bir şekilde sunulmuştur.



Şekil 10. Disk yarma deneyi için düzenek

$$f_{ct} = \frac{2P}{\mu hd} \quad (1)$$

Bu denklemde;  $f_{ct}$  betonun yarma çekme dayanımını, P deneyde ölçülen en büyük yükü, d

disk çapını (standart yarma diskleri için 150 mm), h ise disk boyunu (standart yarma diskleri için 60 mm) simgelemektedir. Disk yarma deneyi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Standart disk yarma deneyi sonuçları

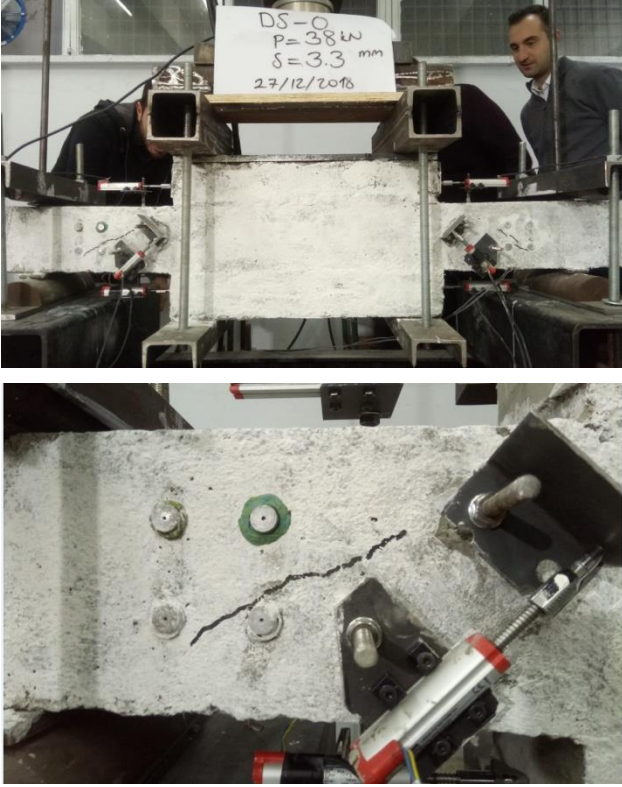
Standart Disk	Numune No	Numune Kalınlığı (mm)	Çekme dayanımı $f_{ct}$ (MPa)	Ort. Basınç dayanımı $f'_{c,ort}$ (MPa)
DS-O	1	60.0	1.07	1.40
DS-O	2	59.9	1.25	
DS-O	3	60.1	1.63	
DS-O	4	54.0	1.49	
DS-O	5	57.9	1.58	
CCRS-O	1	57.6	1.62	1.69
CCRS-O	2	60.1	1.70	
CCRS-O	3	61.0	1.71	
CCRS-O	4	56.5	1.71	

### Deney Sonuçları ve Değerlendirme

Bu çalışmada gerçekleştirilen yaklaşık tam ölçekli kolon numunelerinin deney sonuçları bu bölümde sunulmuştur. DS-O ve CCRS-O numunelerine ait temel sonuçları aşağıda iki ayrı başlık halinde sunulmuştur.

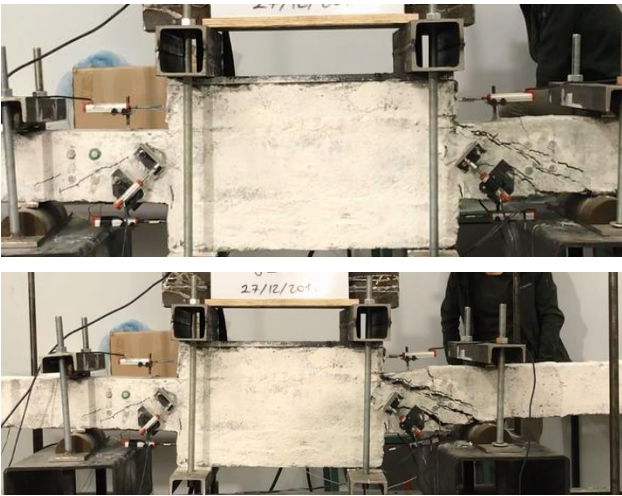
#### DS-O numunesine ait temel sonuçlar

Numuneye yaklaşık 74 kN (7.4 ton) eksenel yüklemekten sonra yatay yüklemeye başlanmıştır. 2 kN yük artımı ile deneye devam edilmiştir. 38 kN yatay yükte numunede ilk olarak eğik kesme çatlakları oluşmuştur. Şekil 11'de görüldüğü üzere daha sonra ilerleyen yüklemeye adımlarında eğilme çatlakları oluşmakla beraber genişliğinde önemli bir ilerleme olmamıştır. Kesme çatlaklarının sayısı ilerleyen yüklemeye adımlarında biraz artmasına karşılık daha çok mevcut eğik çatlaklarının genişlikleri önemli derecede artarak numunenin kesme etkilerinden dolayı dayanımını yitirmesine neden olmuştur. Şekil 11'de görüldüğü gibi kesme çatlaklarının yatay ile yaptığı açı eksenel yükün etkisi ile beklendiği gibi 45 dereceden daha azdır.



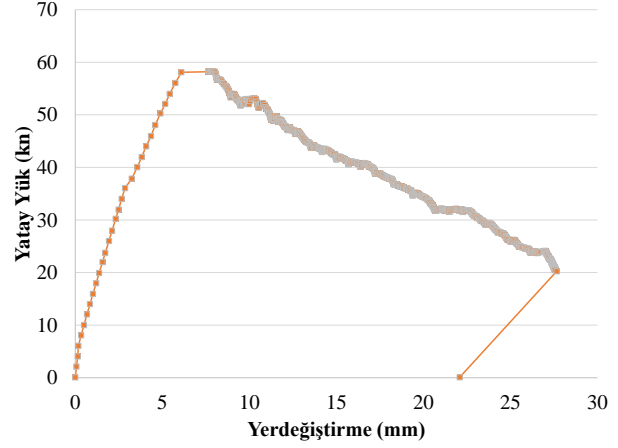
Şekil 11. DS-O numunesinde oluşan ilk eğik çatlak

DS-O numunesi en çok 58.27 kN yük taşıyarak kesme etkilerinden dolayı dayanımını yitirmiştir. Şekil 12’de görüldüğü gibi genişlikleri büyük kesme çatlaklarına paralel aynı zamanda betonda da basınç ezilmesi gerçekleşmiştir.



Şekil 12. DS-O numunesinin deney sonlarına doğru hasar gelişimi

Şekil 11’de DS-O numunesi için deney sonucunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi göçme ani ve gevrek bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu durum tipik bir kesme göçmesinin göstergesidir.



Şekil 11. DS-O numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 11’de görüldüğü gibi yük-yerdeğiştirme eğrisinin düşen kolu için diğer bölüme göre çok daha fazla sayıda veri alınmıştır. Bu durum sebebi numunenin kesme hasarından kaynaklı ani göçme durumunda da verileri alabilmek için veri kayıt aralıkları 125 milisaniye olarak ayarlanarak deneye devam edilmiştir. Göçme çok hızlı ilerlediği için nokta verileri için okumalar alınmamış ve gözlem olarak fotoğraflar yerine video çekimi yapılmıştır.

### CCRS-O numunesine ait temel sonuçlar

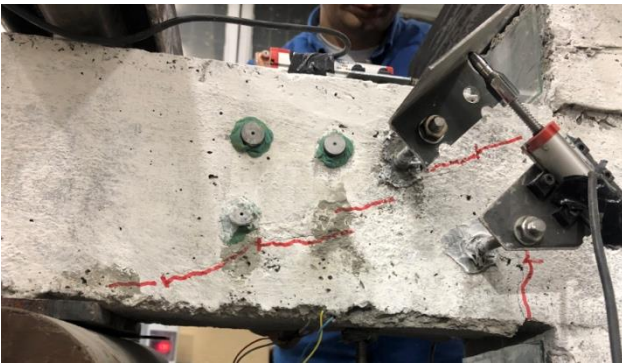
Numuneye 74 kN eksenel yüklemeye başlandıktan sonra yatay yüklemeye başlanmıştır. 2 kN yük artımı ile deneye devam edilmiştir. 20 kN yatay yükte numunede ilk olarak eğilme çatlakları oluşmuştur. Şekil 13’te görüldüğü gibi daha sonra ilerleyen yüklemeye adımlarında eğilme çatlakları biraz daha ilerlemiştir ve 40 kN’da ilk eğik kesme çatlakları Şekil 14.a’da görüldüğü gibi oluşmuş ve Şekil 14.b’de görüldüğü gibi ilerlemiştir. Kesme çatlakları oluştuğundan sonra eğilme çatlakları hemen hemen durmuş ve kesme çatlakları artıp genişleyerek Şekil 15’te görüldüğü gibi numune dayanımını yitirmiştir.



Şekil 13. CCRS-O numunesinde oluşan ilk eğilme çatlağı



a)



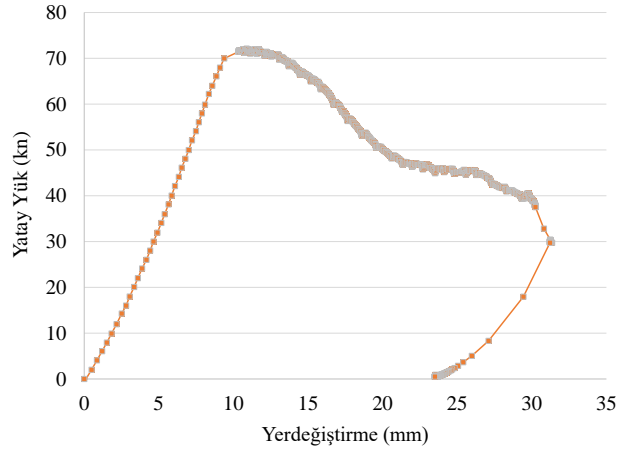
b)

Şekil 14. CCRS-O numunesinde oluşan ilk eğik kesme çatlağı



Şekil 15. DS-O numunesinin deney sonlarına doğru hasar gelişimi

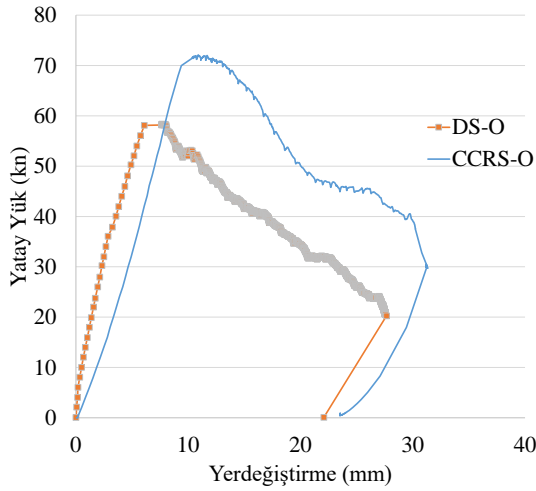
Şekil 16'da CCRS-O numunesi için deney sonucunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi bu numunede de göçme ani ve gevrek bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu ani göçme şekli de tipik bir kesme göçmesini işaret etmektedir.



Şekil 16. CCRS-O numunesine ait yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 17'deki grafikten görülebileceği gibi bu numune en çok 71 kN yatay yük taşımıştır. CCRS-O numunesi DS-O numunesine göre  $71 - 58 = 13$  kN daha fazla yatay yük taşımıştır. Bu yük artışı CCRS-O numunesindeki etriye miktarının DS-O numunesine göre fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer yandan grafikten de görülebileceği gibi bu numune de eğilme kapasitesine ulaşamamıştır. Etriye aralığının 75 mm olmasına karşılık numunenin eğilme kapasitesine ulaşmadan kesme etkilerinden dolayı göçmesi beton dayanımı düşük ve boyuna donatı oranı nispeten yüksek olan kolonlarda çatlak oluşumundan sonra

betonun basınç etkilerinden dolayı ezilmesi de göçme yükü üzerinde kilit bir rol oynamaktadır. Bu durumun farklı etkenler de göz önüne alınarak yapılacak çok sayıda deney ile daha detaylı bir şekilde incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.



Şekil 17. DS-O ve CCRS-O numunelerinin yatay-yerdeğiştirme ilişkilerinin karşılaştırılması

## Sonuçlar

Bu çalışmada düşük dayanımlı betona sahip kısa kolonların farklı etriye aralıklarına sahip olmaları durumlarındaki davranışları incelenmiştir. Sonuç olarak her iki numunenin de eğilme kapasitelerine ulaşmadan kesme göçmesi ile dayanımlarına ulaştıkları görülmüştür. Etriye aralığının sıklaştırılarak yanıl donatı miktarının artırılması numunenin yatay taşıma kapasitesini artırmıştır buna karşılık gevrek kesme göçmesinin önüne geçilememiştir. Bu durum özellikle düşük dayanımlı betona sahip ve boyuna donatı oranları yüksek olan kolonlarda kesme etkilerininin karşılanması için etriyenin tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. Kesme kuvveti sonucunda oluşan asal çekme gerilmeleri etriye ile karşılanmasına karşılık beton dayanımının düşüklüğünden de kaynaklı asal basınç gerilmeleri karşılanmamakta ve asal basınç gerilmeleri beton basınç dayanımını aşarak kesme basınç ezilmesi ile numune dayanımını gevrek bir şekilde yitirmektedir. Bu tür detaylara sahip kolonları temsil edecek numeneler ile ilgili deneysel çalışmaların

artırılarak bu tür elemanların davranışlarının incelenmesi önerilmektedir.

## Teşekkür

Bu proje Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (DÜBAP) biriminin Mühendislik.15.008 Nolu ve Düşük Dayanımlı Betona Sahip Betonarme Kısa Kolonların Davranışlarının İncelenmesi ve Depreme Karşı Güçlendirilmesi isimli projesi kapsamında desteklenerek gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı DÜBAP'a teşekkür ederiz. Deney sürecine katılarak destek sunan lisans öğrencisi Muaz Yalçın, Doktora öğrencisi İnş. Yük. Müh. Şehmus Yıldız ve İnş. Yük. Müh. Yunus Efe'ye deneyler sırasındaki katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Bedirhanoglu, I., (2009). Düşük dayanımlı betona sahip betonarme kolon ve birleşimlerin deprem yükleri altında davranışlarının incelenmesi ve iyileştirilmesi, Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009, 700 sayfa.
- Bedirhanoglu, I., Ilki, A., Pujol, S. And Kumbasar, N., (2010). „Seismic behavior of joints built with plain bars and low-strength concrete”, ACI Struct. J., 107(3), 300-310.
- Bedirhanoglu, I., (2014). A practical neuro- fuzzy model for estimating modulus of elasticity of concrete, Struct. Eng. Mech., 51(2), 249-265.
- Furuta, T., Kanakubo, T., and Fukuyama, H. (2003). „Evaluation of shear capacity of RC columns strengthened by continuous fiber”, Proceedings of Sixth International Symposium on FRP Reinforcement for Concrete Structures, Editor: K.H. Tan, National University of Singapore, Singapore, pp. 507-516.
- Harmon, T.G., Gould, N.C., Ramakrishnan, S., and Wang, E.H. (2002). „Confined concrete columns subjected to axial load, cyclic shear, and cyclic flexure-part I: analytical models”. ACI Structural Journal, Vol. 99, No. 1, pp 32-41.
- A.İlki, I. Bedirhanoglu, I. H. Basegmez and N. Kumbasar (2006). Shear Retrofit of Low Strength Reinforced Concrete Short Columns with GFRP Composites. Third International

Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2006), December 13-15 2006, Miami, Florida, U.S.A. pages: 601-604.

Maruyama, K., Nakai, H., Katsuki, F., and Shimomura, T. (2001). "Improvement of shear and ductility of reinforced concrete columns by wrapping of continuous fiber-reinforced polymer sheet". *Advanced Composite Materials*, Vol. 10, No. 2-3, pp 119-126.

## Investigation of Shear Behaviour of Reinforced Concrete Captive Column with Low Strength Concrete

### Extended abstract

Since seismicity is active in Turkey, most of the buildings are vulnerable against earthquake excitation. Captive column shear strength deficiency is one of the most important deficiencies cause damage during earthquakes. Crucial point of construction shortages are insufficient concrete quality and insufficient stirrup.

Inadequate concrete strength and insufficient stirrup completely change the behavior of reinforced concrete elements. Since the study of such elements is considered to have an important role in determining the performance of building the behavior of concrete elements is also discussed in this study.

In the experimental study, test specimen consisting of approximately full-scale lower floor column, upper floor column and beam part were used. The samples were manufactured to have low strength concrete and insufficient stirrups to represent existing weak structures.

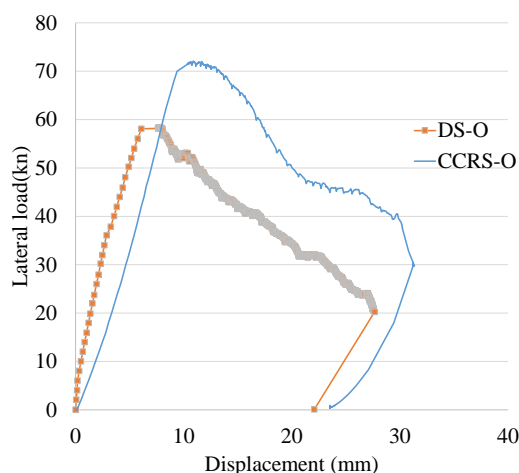
As can be seen the spacing range of stirrups in the DS-O specimen was 150 mm, and in the CCRS-O specimen was 75 mm. In the first specimen, the distance between stirrups was not compile with the regulation, on the other hand, in the second specimen, the distance between stirrups was sufficient and, complied the regulation.

In order to represent the situation in the existing weak structures, the concrete was designed to have low-strength concrete. The compression strength of test specimens was determined to be around 11 MPa.

Specimens were tested horizontally, not in the same way as it was, and specimens fixed with axial load. Besides, gradually increasing monotonic loads were applied. Although the specimens are 3 meters long in total, the supports are placed at a distance of 300 mm from the beam as to represent the captive column behavior.

It was ensured that the axial load amount was fixed to be around 74 kN ( $\sim 0.3bhfc$ ) which corresponded to approximately 30% of the column axial load

capacity. After the axial loading is completed, horizontal loading is started. Horizontal loads applied with a 2 kN loading increases. For every 2 kN load increase, a very short break is given to take all measurements and damage photographs from test specimens.



Comparison of load-displacement relationship of DS-O and CCRS-O specimens

As can be seen from the graph, these specimens has a maximum horizontal load capacity of 71 kN. The CCRS-O specimen carried  $71-58 = 13$  kN more horizontal load than the DS-O specimen. This increase is due to the fact that the number of stirrups in the CCRS-O specimen is higher than the DS-O specimen.

In this study, the behavior of captive columns with low strength concrete in different cases were investigated. As a result, it has been seen that both specimen have reached their strength with reaching shear capacity without reaching their bending capacity. It was seen that the principle tensile stresses caused by the shear force are compensated by the hoops, while the principle compression stresses cannot be compensated by the low strength concrete. So principle compression stress exceed the compression strength of low strength concrete and brittle failure was happened. As a further study recommendation behavior of such kind of captive columns should be investigated for different cases.

**Keywords:** Captive column, Concrete, Shear failure





# İsale hatlarında deprem riskinin olasılıksal hesabı ve bir örnek uygulama

**Gökhan ÇALIM**

*Istanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*  
[gcalim@iski.gov.tr](mailto:gcalim@iski.gov.tr) ORCID: 0000-0002-2763-1975

**İhsan Engin BAL\***

*Hanze Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Groningen, Hollanda*  
[i.e.bal@pl.hanze.nl](mailto:i.e.bal@pl.hanze.nl) ORCID: 0000-0003-0919-9573, +31 (0)50-5952101

**Gülten GÜLAY**

*Istanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul*  
[gulayg@itu.edu.tr](mailto:gulayg@itu.edu.tr) ORCID: 0000-0003-3358-6450

Geliş: 20.05.2017, Kabul Tarihi: 11.06.2018

## Öz

*Yeryüzünde oluşabilecek depremlerden dolayı üstyapı kadar hayat yolları dediğimiz kanalizasyon, içmesuyu, elektrik hatları vb. gibi altyapılarda oluşabilecek hasarların önceden hesaplanması da depremin olumsuz etkilerini azaltabilmek için büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, literatürde bulunan gömülü boru hatları için hasar bağıntıları araştırılarak, İstanbul'da meydana gelmesi beklenen depreme göre Ø2200mm çapındaki örnek bir isale hattı için borularda meydana gelebilecek hasar sayıları ve yerleri belirlenmiştir.*

*Dünya üzerinde yapılan çalışmalarda altyapı sistemlerinin deprem riskinin belirlenmesinde kırılma eğrileri, istenen noktadaki En Büyük Yer Hızı - PGV (Peak Ground Velocity), Kalıcı Yer Deformasyonu - PGD (Permanent Ground Deformation) gibi deprem parametrelerine karşın hasar sayısını veren bağıntılar olarak ifade edilmektedir. Bu kapsamda kırılma eğrilerini kullanarak hasar sayıları ve yerleri ile beraber isale hatlarında deprem riski ve haritası elde edilmiştir. Hesaplamalarda Gömülü boru hatlarında iyi korelasyon gösteren PGV parametresi kullanılmıştır. PGV hesabında ise literatürde zemin cinsi, fay tipi, uzaklığı, depremin aletsel büyüklüğünü dikkate alan Yer Hareketi Tahmin Bağıntılarından (YHTB, veya İngilizce'de GMPE-Ground Motion Prediction Equations) faydalanılmıştır. Deprem tehlikesinin analizinde SHARE projesinde kaydı tutulan depremler arasında İstanbul'a yakın depremler seçilerek etkin bir deprem kataloğu oluşturulmuştur. Ayrıca çalışılan bölgedeki boru hattının düğüm noktalarıyla belirli alt parçalarının hangi zemin cinsinde kaldığını belirlemek amacıyla yaklaşık 400×600 metrelik hücreler ile  $V_s$  kayma hızlarını bildiğimiz hücreler kullanılmıştır. Yukarıda bahsi geçen hesapları ve haritaları oluşturmak için bir yazılım hazırlanmış ve burada sunulan sonuçlar bu şekilde elde edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** İsale hatları; Deprem riski; Gömülü boru hattı

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.538436

## Giriş

Dünya üzerinde insanların içmesuyu kaynaklarına ulaşımı büyük önem arz etmektedir. Yaşamın devam etmesi ve medeniyetin gelişmesi için su alternatifi olmayan bir doğal kaynaktır. Büyük çoğunluğu şehirlerde yaşayan topluma suyu ulaştırmak yoğun nüfusa sahip yerlerde daha karmaşık bir hal almaktadır. Türkiye'nin en büyük kenti olan İstanbul'da konutlara su temini ana isale hatları ile yapılmakta olup olağan şartlarda bile zorluklar içermektedir. Olağanüstü bir durum olan deprem halinde her ne kadar ilk etapta can kaybının önlenmesi birinci derecede önemli olmakla birlikte hayat yolları dediğimiz karayolları, elektrik, doğalgaz, su vb. Hatların da deprem sonrası kullanılması hayati önem arz etmektedir. Özellikle deprem sonrasında şehre su verilmesi hayatın devamı, temizlik, salgın hastalıkların önlenmesi ve endüstrinin üretime devam etmesi için vazgeçilmez bir unsurdur.

Bu çalışmada İstanbul'daki içmesuyu isale hatları için deprem riski gerçeğe yakın bir biçimde belirlenmesi öngörülmektedir. Bunun için literatürde bulunan hasar-yer hareketi bağıntıları incelenmiş ve İstanbul'da meydana gelmesi beklenen depremin verilerine ve senaryolarına göre Alibeyköy içmesuyu isale hattı üzerinde uygulama yapılmıştır.

Daha önce meydana gelmiş depremler dikkate alındığında ve incelendiğinde gömülü boruların uğradığı sismik hasarlarla ilgili birçok bilgiye ulaşmak mümkündür. Bu incelemeler bize kullanışlı bilgiler sunar. Geçmiş olaylardan edinilen bu tip bilgiler istatistiksel olarak hasar tahmini yapmayı sağlar, olası deprem ve hasarları tahmininde bu bilgiler kullanılabilir. Bu tahminler kullanılarak hasar sayılarını veren ampirik formüller elde edilmektedir. Boru hasar sayıları genellikle hasar oranları ile ifade edilmektedir. Hasar oranları bir bölgedeki boru hasar sayısının aynı bölgedeki boru hattı uzunluğuna bölünmesiyle elde edilir. Literatürde verilen bağıntılarda hasar oranı km başına oluşan hasar sayısı olarak verilmiştir.

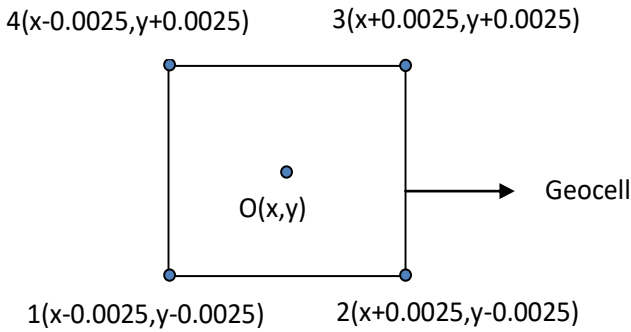
Bunlar En Büyük Yer Hızı - PGV (Peak Ground Velocity), Kalıcı Yer Deformasyonu - PGD (Permanent Ground Deformation) vb. gibi deprem parametrelerine karşın hasar oranını sayısını veren bağıntılar olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada hasar oranlarının belirlenmesinde iyi korelasyon veren PGV yer hareketi parametresi kullanılmıştır. Boru hasar hesabında PGV en önemli parametredir. PGV değerinin bulunmasında Yer Hareketi Tahmin Bağıntıları (YHTB) kullanılmaktadır. YHTB'da çalışılan boru hattını olduğu yerdeki zemin cinsi, uzaklık, fay tipi ve depremin aletsel büyüklüğü sonucu etkilemektedir. Ayrıca hasar hesabında PGV haricinde gömülü boru hatlarında boru cinsi, boru çapı, ek türleri, korozyon ve boru yaşı gibi faktörler önemli rol oynamaktadır. Su dağıtım sistemlerinde çeşitli boru tipleri kullanılmaktadır. Bunların günümüze kadar kullanılan en yaygın türleri; düktil demir ve dökme demir (font) borular, çelik borular, plastik borular (PVC) ve asbest (AÇB) borulardır. Boru hatlarının yapıldığı malzeme ve boruların ekleniş şekli deprem esnasındaki performanslarını etkilemektedir. En genel manasıyla boru hatları düktil ve kırılman olma üzere iki gruba ayrılmaktadır. Örneğin düktil demir ve günümüzdeki çelik borular düktil borular grubuna dahilken, font ve asbestli çimento (AÇB) borular kırılman borular grubuna girmektedir. Böylece onarım çalışmalarını hızlı ve etkin bir biçimde yapabilmek için, İstanbul için hayati öneme sahip içmesuyu hatlarının deprem sırasında olası hasar sayıları ve yerleri belirlenecektir.

## Mevcut Verilerin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada İstanbul genelinde isale hatlarında kullanılan boru envanteri incelenmiştir. Kullanılan boru tipleri; asbest beton, çelik gömleklili betonarme boru, font, düktil font , beton/betonarme, çelik , PE (Polietilen), CTP (Cam Takviyeli Plastik), MBB (Muflu Betonarme Boru), öngermeli betonarme boru, pik boru, tipleridir. Ana isale hatlarında

kullanılan boruların %82'si çelik malzemeden imal edilmiştir.

Bu çalışma için ayrıca İstanbul'a ait mikrobölgeleme verileri toplanmıştır. 24144 noktaya ait koordinat ve zemin cinsleri elde edilmiştir.  $+0.005/2$  ve  $-0.005/2$  derecelik kaymalarla ( $400 \times 600$  metre uzunluğunda) zemin tipi hücrelerine ait tablolar oluşturulmuştur. Ayrıca her bir noktaya ait kayma hızı  $V_s$  değerleri verildiğinden ilgili hücredeki zemin cinsi hakkında bilgi sahibi oluruz. Bir kere isale hattının parçasının hangi hücre içinde kaldığı belirlendikten sonra söz konusu isale hattının hangi zemin sınıfının veya sınıflarının içinden geçtiği kolayca tespit edilir.

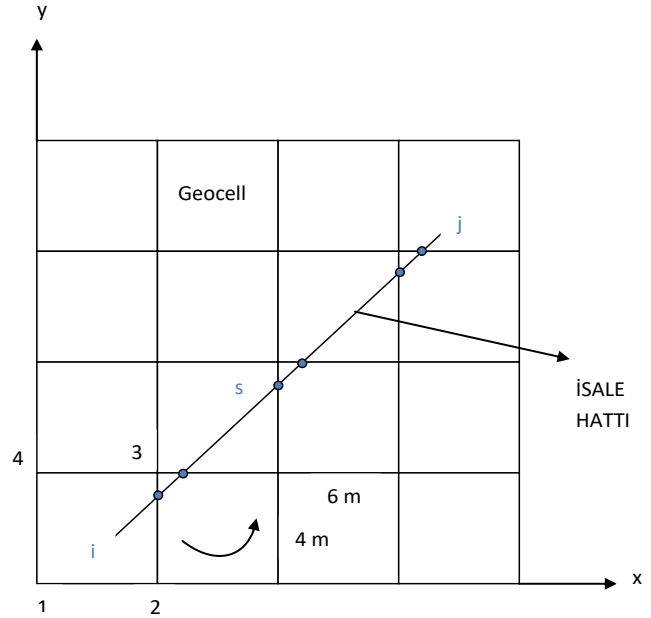


Şekil 2. Harita Hücrelerinin Oluşturulması

Yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra tüm isale hatlarının hangi hücrenin içine denk düştüğünün bulunması gerekmektedir. Bunun için ilk önce tüm isale hatlarının hücrelerin hangi noktada kesiştiklerinin bulunması gerekmektedir. Bu işlem için tarafımızca bir algoritma geliştirilmiştir. İsale hattını oluşturan çubukların her iki düğüm noktasının hangi noktada hangi hücreyi kestiği hesaplanarak yeni düğüm noktaları oluşturulmuştur. Böylece isale hattındaki iki düğüm noktasını oluşturan çubuğun bir hücreye atanmasına olanak sağlanmıştır.

Bundan sonra işleme hazırlanan yazılım ile devam edilmiştir. Düğüm noktalarının orta noktaları bulunarak bu noktaların hangi hücre içinde olduğu tespit edilerek düğüm noktalarını oluşturan çubuğun hangi hücreye ait olduğu belirlenerek isale hattının ilgili kısmının hangi

zemin tipinde olduğu belirlenir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, örnek sistem üzerinde algoritma oluşturularak İstanbul'da baraj, terfi istasyonu ve arıtma tesisini birleştiren kritik iki hat için örnek bir uygulama yapılmıştır.



Şekil 3. Örnek Sistem

## Literatür Araştırması

Dünya üzerinde yapılan çalışmalarda altyapı sistemlerinin deprem riskinin belirlenmesinde kırılma eğrileri, istenen noktadaki Mercalli Şiddeti (MMI), (PGV), en büyük yer ivmesi (PGA), (PGD), spektral ivme  $S_a$ , spektral hız ( $S_v$ ), şiddet spektrumu (SI), Arias şiddeti (AI), maksimum yer şekil değiştirilmesi ( $\epsilon_g$ ), bileşik parametre ( $PGV^2/PGA$ ) gibi deprem parametrelerine karşın hasar sayısını veren bağıntılar olarak ifade edilmektedir.

Gömülü boru hatları ve yer hareketi parametreleri arasındaki ampirik bağıntılar 1970'li yılların ortalarından beri çalışılmaya başlanmıştır. Font ve asbest beton boruların PGA cinsinden hasar bağıntılarını araştıran çalışma Katayama v.d. (1975) çalışmasıdır. Bu çalışmada Japonya'daki altı ve ABD den bir depremin senaryoları kullanılmıştır. Bundan sonra birçok araştırmacı boru hatları için farklı deprem parametreleriyle hasar bağıntılarını çalışmış ve bunların bir tarihçesi Porras ve

Najafi tarafından (2010) Tablo1’de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Porras ve Najafi (2010) tarafından verilen hasar ilişkileri tarihçesi

Sismik Şiddet Parametresi	Referans
PGA	Katayama et al. (1975) Isoyama ve Katayama (1982) ASCE-TLCEE (1991) T.D.O’Rourke et al. (1991) Hamada (1991) Hwang and Lin (1991) T.D.O’Rourke et al. (1998) Isoyama et al. (2000)
MMI	Eguchi (1983) Ballantyne et al (1990) Eguchi (1991) T.D.O’Rourke et al. (1998)
PGV	Barenberg (1983) M.J.O’Rourke ve Ayala(1993) Eidinger et al. (1995) Eidinger (1998) T.D.O’Rourke et al. (1998) T.D.O’Rourke ve Jeon (1999) Isoyama et al. (2000) ALA(2001) Pineda ve Ordaz (2003) M.J.O’Rourke ve Deyoe (2004) Jeon ve O’Rourke T.D. (2005)
PGD, AI ,SA ve SI	T.D.O’Rourke et al. (1998)
$\epsilon_g$	M.J.O’Rourke ve Deyoe (2004)
$PGV^2/PGA$	Pineda ve Ordaz (2007) Pineda ve Ordaz (2010)

Literatürde boru hatları için sismik hasar bağıntıları açısından 1993 yılından itibaren dikkate değer bir değişim olmuştur. Bu yıldan itibaren PGV hasar bağıntılarında tercih edilen parametre olamaya başlamış ve PGA ve MMI birkaç istisna dışında kullanılmamaya başlamıştır. Bu çalışmalar arasından O’Rourke ve Ayala (1993) Barenberg ve üç farklı depremin veri noktalarını kullanarak PGV cinsinden boru hatları için yeni bir bağıntı önermiştir.

### Hasar Fonksiyonları

Gömülü boru hatlarının hasar bağıntılarının oluşturulmasında birçok deprem parametresi

kullanılmaktadır. Bu çalışmada son yıllarda da tercih edilen boru hatları için hasar hesaplamalarında daha iyi korelasyon gösteren PGV kullanılmıştır. PGV değeri olarak birkaç adet farklı yaklaşım yapılabilmektedir. Birincisi ölçülen en büyük iki yatay hız bileşeninden en büyüğü alınabilir. İkinci olarak en büyük iki yatay hız bileşenin geometrik ortalaması alınır veya üçüncü bir yaklaşım olarak da yatay hızların en büyük vektörel değerleri alınabilir.

Bu çalışmada Akkar ve Bommer (2007) tarafından önerilen YHTB kullanılmış ve PGV hesabında geometrik ortalama seçilmiştir.

Akkar ve Bommer (2007) çalışmasında Avrupa

ve Ortadoğu'daki sismik olarak aktif bölgelerdeki kuvvetli yer hareketi veritabanını kullanarak PGV'nin hesaplanması için denklemler elde edilmiştir. Toplam 532 kuvvetli yer hareketinin 100 km'ye kadar uzaklıkta ve moment büyüklüğü 5.5 ile 7.6 arasında değişen 131 depremin değerleri kullanılarak hem maksimum hem de geometrik ortalama için yatay bileşenleri veren denklemler elde edilmiştir.

Akkar ve Bommer (2007) tarafından önerilen formül şu şekildedir:

$$\text{Log (PGV)} = b_1 + b_2 \times \text{Magn} + b_3 \times \text{Magn}^2 + (b_4 + b_5 \times \text{Magn}) \times \log(R_{jb}^2 + b_6^2)^{0.5} + b_7 \times S_s + b_8 \times S_A + b_9 \times F_N + b_{10} \times F_R$$

PGV : Pik yer hızı cm/sn

Magn : Depremin aletsel büyüklüğü

$R_{jb}$  : deprem odağına olan uzaklık km

$F_N, F_R$  : Fay tipi katsayısı

$S_s, S_A$  : Zemin tipi katsayısı

Geometrik ortalama PGV değerine göre katsayılar:

$$b_1 = -1.36$$

$$b_2 = 1.63$$

$$b_3 = -0.079$$

$$b_4 = -2.948$$

$$b_5 = 0.306$$

$$b_6 = 5.508$$

$$b_7 = 0.243$$

$$b_8 = 0.087$$

$$b_9 = -0.057$$

$$b_{10} = 0.0245$$

Yukarıda verilen denklemlerle elde edilen PGV değerleri aşağıda verilen hasar sayıları hesabında kullanılmıştır.

Hasar sayılarının hesabında kullanılan bağıntılarının en yaygınlarından birisi HAZUS (1999) tarafından önerilen denklemdir.

$$HS = 0.0001 \times (PGV)^{2.25}$$

HS : Hasar sayısı (Onarım sayısı/km)

PGV : Pik yer hızı (cm/sn)

Bu bağıntıda kırılğan borular için hasar sayıları 1 esnek borular için 0.3 ile çarpılması öngörülmüştür.

ALA2001(2001) (Amerikan Lifelines Alliance 2001) projesinde; ABD, Japonya ve Meksika'da meydana gelen toplam 12 adet depremden elde edilen veriler kullanılarak geçici yer deformasyonları meydana gelebilecek hasarları tahmin etmek için hasar ilişkileri geliştirilmiştir.

$$HS = K_1 \times 0.00241 \times PGV$$

HS : Hasar sayısı (Onarım sayısı/km)

PGV : Pik yer hızı (cm/sn)

$K_1$  : Malzeme tipi, çap ve birleşime bağlı katsayı

Eidinger ve Avila (1999) tarafından önerilen hasar bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$HS = K_1 \times 0.001 \times (PGV)^{1.98}$$

HS : Hasar sayısı (Onarım sayısı/km)

PGV : Pik yer hızı (cm/sn)

$K_1$  : Malzeme tipi, çap ve birleşime bağlı katsayı

Pineda ve Ordaz (2003) gelecekte olması muhtemel depremler sonrası su dağıtım sisteminde meydana gelebilecek ortalama hasar sayısını elde etmek için, kümülatif dağılım gösteren normal bir fonksiyon geliştirmiştir.

$$0 < PGV < 5.35 ;$$

$$HS = 0$$

$$5.35 \leq PGV < 95 ;$$

$$HS = 0.1172 + 0.7281 \times \int_{-\infty}^{PGV} \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 19.7811}} \times e^{-1/2[(PGV-51.8964)/19.7811]^2} d PGV ]$$

$$PGV \geq 95 ;$$

$$HS = 0.00137 \times (PGV) \times 0.70458$$

HS : Hasar sayısı (Onarım sayısı/km)

PGV : Pik yer hızı (cm/sn)

O'Rourke ve Deyoe (2004) tarafından yapılan çalışmada PGV'yi kullanarak R ve S dalgalarına göre hasar bağıntısı vermiştir.

$$HS = 0.0035 \times PGV^{0.92} \quad S \text{ dalgası}$$

$$HS = 0.034 \times PGV^{0.92} \quad R \text{ dalgası}$$

HS : Hasar sayısı (Onarım sayısı/km)

PGV : Pik yer hızı (cm/sn)

Yoo, Kang ve Kim (2013) tarafından yapılan çalışmada ALA2001 ve Isoyama tarafından önerilen formül kombine edilerek yeni bir hasar bağıntısı önerilmiştir.

$$HS = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times 0.00241 \times (PGV)$$

HS : Hasar sayısı (Onarım sayısı/km)

PGV : Pik yer hızı (cm/sn)

C<sub>1</sub> : Boru çapı katsayısı

C<sub>2</sub> : Malzeme tipi katsayısı

C<sub>3</sub> : Topoğrafya katsayısı

C<sub>4</sub> : Sıvılaşma katsayısı

O'Rourke ve Jeon (1999) 600 mm den küçük borular için font ve düktil font borular için hasar bağıntıları verilmiştir.

$$HS = e^{(1.84 \times \ln(PGV) - 9.40)} \quad \text{Düktil font}$$

$$HS = e^{(1.21 \times \ln(PGV) - 6.78)} \quad \text{Font}$$

HS : Hasar sayısı (Onarım sayısı/km)

PGV : Pik yer hızı (cm/sn)

O'Rourke ve Jeon (2000) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise ölçekli boru çapları için font ve düktil font borular için hasar bağıntıları elde edilmiştir.

$$HS = 0.004 \times (PGV/D_p^{0.468})^{1.378} \quad \text{Düktil font}$$

$$HS = 0.036 \times (PGV/D_p^{1.021})^{0.989} \quad \text{Font}$$

HS : Hasar sayısı (Onarım sayısı/km)

PGV : Pik yer hızı (cm/sn)

Toprak(1998) tez çalışmasında font borular için aşağıdaki hasar ilişkisini vermiştir.

$$HS = 10^{(1.62 \times \log(PGV) - 3.64)}$$

HS : Hasar sayısı (Onarım sayısı/km)

PGV : Pik yer hızı (cm/sn)

Son olarak da bu çalışmada kullanılan hasar bağıntısı Eidinger (1998) tarafından verilmiştir.

$$HS = 1.2 \times 10^{-3} \times PGV^{0.7677} \quad \text{Asbest Beton}$$

$$HS = 6 \times 10^{-4} \times PGV^{1.5542} \quad \text{Font}$$

$$HS = 6 \times 10^{-5} \times PGV^{2.2949} \quad \text{Düktil Font}$$

HS : Hasar sayısı (Onarım sayısı/km)

PGV : Pik yer hızı (cm/sn)

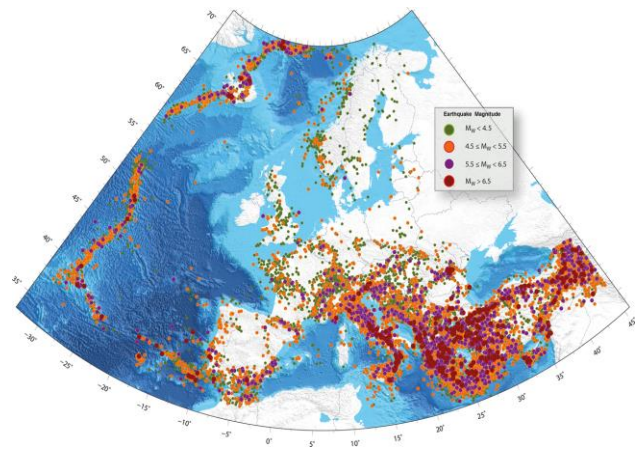
## Deprem kataloglarının elde edilmesi

Sismik tehlike değerlendirmesi "Avrupa'daki Sismik Tehlike Uyumluluğu (SHARE)" projesi sonuçlarından ortaya çıkan 2013 Avrupa Sismik Tehlike Modeli (ESHM13), belirsizlikleri sayılara döken ve ulusal sınır kısıtlamasını ortadan kaldıran Avrupa ve Türkiye için tutarlı bir sismik tehlike modelidir (Woessner J.vd. 2015). Aynı zamanda Küresel Deprem Modeli(GEM) inisiyatifine katkı sağlayan ilk bitirilmiş bölgesel çalışmadır. Küresel Deprem Modeli(GEM) kapsamında geliştirilen OpenQuake yazılımı SHARE projesi kapsamında da etkin bir şekilde kullanılmıştır(Silva, V. vd. 2013).

Bu projede Orta Atlantik Sırtlarından Doğu Avrupa platformuna, Akdeniz'deki dalma zonlarından ve Türkiye deki geniş dönüşüm faylarından Baltık kalkanına kadar uzanan geniş bir alan çalışılmıştır. SHARE projesi kapsamında yeni homojen bir deprem kataloğu bir araya getirilmiştir. Bu katalog iki bölümden oluşmaktadır.

- 1000-1899 yılları arasındaki tarihsel arşivlerden elde edilen deprem veri ve bilgileri
- 1900-2006 mevcut ulusal kodlardan harmonize edilmiş ve çok sayıda özel çalışmadan alınmış veriler

Katalog daha homojen bir tehlike analizi için Orta ve Doğu Türkiye ye kadar uzatılmıştır.



Şekil3.1000-2006 tarihleri arasında Avrupa'daki depremlerden derlenen SHARE Avrupa Deprem

Katalogu (SHEEC) ve Orta ve Doğu Türkiye Uzantısı(SHEEC-CET); bu katalog 32-44 boylam, 35-72 enlem ile sınırlıdır

Bu çalışmada yukarıda bahsi geçen deprem katalogu İstanbul civarındaki veriler alınarak faydalanılmıştır.

**Tablo 2.** Hasar Bağlantıları

Referans	Boru Cinsi	Hasar Sayısı (Onarım sayısı/km)
HAZUS(1999)	Karışık	$0.0001 \times PGV^{2.25}$
ALA2001(2001)	Karışık	$K_1 \times 0.00241 \times PGV$
Eidinger ve Avila(1999)	Karışık	$K_1 \times 0.001 \times (PGV)^{1.98}$
Pineda ve Ordaz(2003)	Karışık	$0.1172 + 0.7281 \times \int_{-\infty}^{PGV} \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 19.7811}} \times e^{-1/2[(PGV-51.8964)/19.7811]^2} d PGV ]$
O'Rourke ve Deyoe(2004)	Karışık	$0.0035 \times PGV^{0.92}$ S dalgası $0.034 \times PGV^{0.92}$ R dalgası
Yoo,Kang ve Kim(2013)	Karışık	$C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times 0.00241 \times (PGV)$
O'Rourke ve Jeon (1999)	Font Düktül Font	$e^{(1.21 \times \ln(PGV) - 6.78)}$ $e^{(1.84 \times \ln(PGV) - 9.40)}$
O'Rourke ve Jeon(2000) (Ölçekli)	Font Düktül Font	$0.036 \times (PGV/D_p)^{1.021} \times 0.989$ $0.004 \times (PGV/D_p)^{0.468} \times 1.378$
Toprak(1998)	Font	$10^{1.62 \times \log(PGV) - 3.64}$
Eidinger (1998)	Asbest Beton Font Düktül Font	$1.2 \times 10^{-3} \times PGV^{0.7677}$ $6 \times 10^{-4} \times PGV^{1.5542}$ $6 \times 10^{-5} \times PGV^{2.2949}$

## Önerilen Olasılıksal Değerlendirme Yöntemi

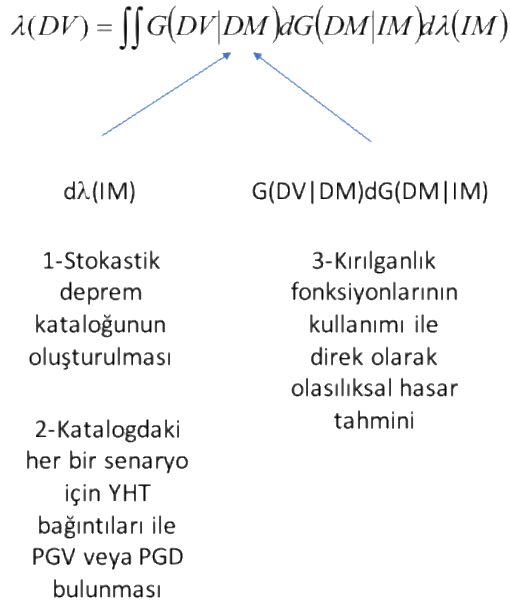
Bu çalışmada gerek envanter bilgileri ve gerekse depremsellik bilgileri, olasılıksal tabanda bir araya getirilerek risk değerlendirme yöntemi oluşturulmuştur. Burada PEER (Pasific Earthquake Engineering Research Center) yaklaşımı (Cornell ve Krawinkler, 2000; Krawinkler, 2002) isale hatları probleminde uyarlanmıştır. Bu olasılıksal çerçeve dünyada risk değerlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

**Risk** PEER yaklaşımı kısaca iç içe integraller ile temsil edilen bir denklemden ibarettir:

$$\lambda(DV) = \iint G(DV|DM) dG(DM|IM) d\lambda(IM)$$

Burada  $G(DV|DM)$  belirli bir karar değişkeninin (Desicion Variable - DV) belirli bir hasar ölçeği (Damage Measure – DM) için aşılma olasılığını, örneğin isale hatlarında hasar oluşturan boru deformasyonlarından daha fazla deformasyonların oluşma olasılığın verir.  $G(DM|IM)$  ise, belirli bir yer hareketi ölçeği için (Intensity Measure - IM) için hasar ölçeğinin (DM) aşılma olasılığıdır. Bu yayındaki örnekte,

örneğin belirli bir PGV değeri için hasar oluşma olasılığını tarif eden bağıntıdır. Son olarak,  $\lambda(IM)$  ise yıllık olarak belirli yer hareketi şiddetinin (örneğin PGV değerinin) beklenen oluşma frekansıdır. Buna benzer şekilde  $\lambda(DV)$  parametresi de beklenen yıllık hasar olasılığıdır. İsale hatlarının olasılıksal deprem risk hesabında, genel deprem risk çalışmalarından farklı olarak, yer hareketi parametresi (IM) ile hasar parametresi (DM) arasında doğrudan bir ilişki vardır zira mevcut gömülü boru hattı kırılma bağıntılarının tamamı bu doğrudan ilişkiye dayalı ampirik yaklaşımlardır. Bu durumu PEER olasılıksal çerçevesine uygulayabilmek için, Şekil 4'te verilen akış izlenmiştir.



Şekil 4. PEER olasılıksal çerçevesinin bu çalışmaya uyarlanması

## Örnek Uygulama

Bu çalışmada, İstanbul'da bulunan ve baraj, terfi istasyonu ve arıtma tesisi arasında önemli bir rol oynayan Ø1000 ve Ø2200mm çapındaki örnek iki isale hattı için hasar tahminleri, bu makalede belirtilen olasılıksal yaklaşım izlenerek hesaplanmıştır. Yukarıda da verilen bağıntılar ile, olası bir depremde İstanbul'a yakın çevresinde deprem üretebilecek noktaları içeren katalog deprem verilerine göre

hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafiğe yansıtılarak hasar sayıları renklendirilmiş ve boru çapları da kalınlığa göre ifade edilmiştir. Böylece boru hatları üzerinde az hasarlı ve çok hasarlı yerler görsel olarak kolayca görülebilmektedir.

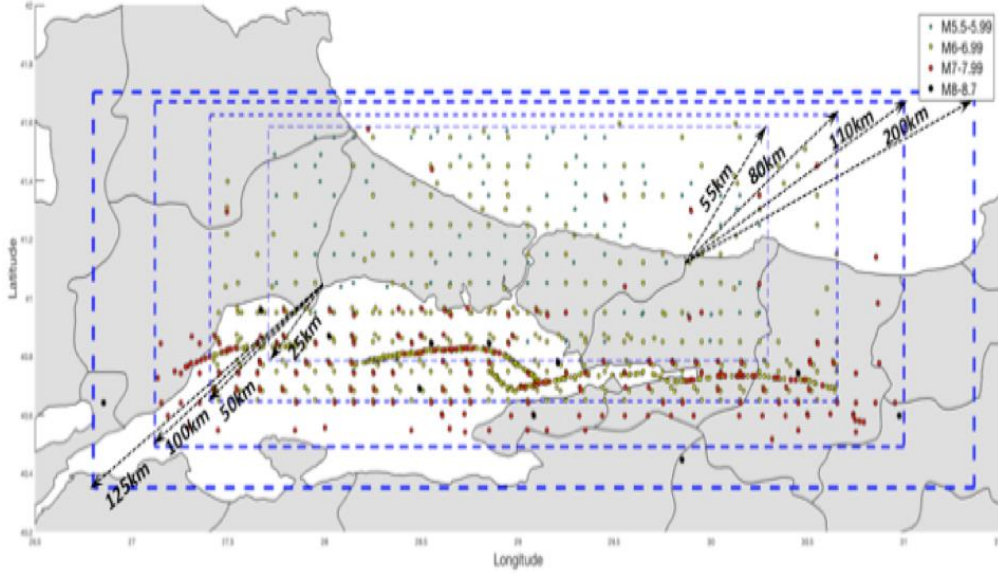
Örnek uygulama çalışmasının yapılabilmesi için öncelikle katalog depremleri seçilmiştir. Bu depremler stokastik olarak üretilen 10,000 yıllık sentetik katalogdan alınmıştır (SHARE projesi kapsamında üretilen kataloglar). Katalog depremlerinin seçiminde, toplam analiz süresini azaltacak ancak sonuçları etkilemeyecek bir yöntem izlenerek katalogun optimizasyonu yapılmıştır. Buna göre, Şekil 5'te verildiği gibi, birbirinin içerisine geçen 4 farklı çalışma alanı seçilmiştir. Bu alanlardan en içeride bulunan ve en küçük olan alanda 5 ve üzeri büyüklüğe sahip tüm depremler, bir dıştaki alanda 6 ve üzeri, bir dıştakinde 7 ve üzeri, ve en son olarak da en dıştaki en büyük çalışma alanında ise 8 ve üzeri depremler dikkate alınmıştır. Bu alanlar seçilirken İstanbul'un sınırlarına uzaklıklar ölçülmüş ve YHT bağıntılarında kayda değer sonuç verebilecek mesafeler çalışma alanına dahil edilmiştir.

Burada örnek uygulaması yapılan yöntem, tam olarak olasılıksal bir yöntemdir. Daha önce bölgesel ölçekte gömülü isale hatlarının deprem riskine yönelik yapılan iki çalışma olan JICA'nın İstanbul için yaptığı çalışma (JICA, 2002) ile HAZUS yöntemi kapsamında yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, bu makalede verilen çalışmanın temel farkı birden fazla hasar fonksiyonunu kullanabilmesi ve ayrıca deterministik değil olasılıksal senaryolar ile çalışabilmesidir. Örneğin JICA çalışması, büyük oranda HAZUS yöntemine ve onun içerisinde kullanılan, bu makalede de verilen hasar görülebilirlik fonksiyonlarına bağlıdır. JICA çalışmasında, deterministik senaryo depremleri için hasar dağılımları bulunmuş, bu yapılırken de sadece bir hasar fonksiyonundan faydalanılmıştır. Burada sunulan çalışmada JICA çalışmasından farklı olarak, hem birden fazla hasar fonksiyonunun içerisine yerleştirilebileceği bir mantık ağacı yaklaşımı



verilmiştir, hem de katalog depremler kullanılarak deterministik değil olasılıksal olarak deprem hasar dağılımını elde etmek mümkün olmuştur.

Bunların yanında tüm yaklaşımın PEER olasılıksal yaklaşımı üzerine oturtulması da, diğer yöntemlerden en temel farkıdır.



Şekil 5. İstanbul isale hatlarının olasılıksal risk değerlendirmesinde kullanılan çalışma alanları (işlem adedini ve bilgisayar hafıza kullanımını optimize edebilmek için uzak küçük depremlerin daha az dikkate alındığı dereceli 4 farklı çalışma alanı boyutu seçilmiştir)



Şekil 6. Örnek uygulama sonucunda bulunan, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem sırasında örnek çalışma alanında oluşması beklenen medyan kilometre başına onarım oranları

## Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, çok farklı malzemelerden inşa edilmiş olan karmaşık isale hatlarında, karar

verici mekanizmaların farklı deprem seviyeleri için toplam deprem riskini görmelerine yarayacak olasılıksal bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde boru hattı üzerinde oluşması beklenen hasar (kilometre boru uzunluğunda

oluşacak hasar adedi), sadece belirli bir senaryo depremi için değil, servis, tasarım ve en büyük deprem durumlarını temsil eden farklı deprem seviyeleri için de tespit edilebilmektedir.

Yöntem çalışma alanı için 10,000 yıl uzunlukta stokastik bir deprem kataloğunu, tüm çalışma alanına ait 0.005x0.005 derece boyutlu hücreleri ve bu hücrelerin zemin özelliklerini, son olarak da her bir hücreye düşen boru parçalarının çap, tip gibi özelliklerini bir araya getirerek deprem risk hesabı yapmaya yaramaktadır. Bu hesabın yapılmasında, PEER tarafından önerilen ve son yıllarda deprem risk çalışmalarında bel kemiğini oluşturan yaklaşım kullanılarak yukarıda sayılan tüm bu bileşenler bir araya getirilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen risk grafiği, Şekil 6'da görülebilir. Burada deprem kaynaklarına uzaklık senaryodan senaryoya çok fazla değişmemektedir zira iki hattın kapladığı alan, deprem kaynağına uzaklığı çok fazla değiştirecek kadar büyük değildir. Analizlerde özellikle zemin durumuna bağlı olarak yüksek PGV değerinin elde edildiği bölgelerde, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem seviyesi için olasılıksal risk değerleri kilometre boru uzunluğu başına 0.12 ila 0.24 arasında değişmektedir. Bu değerler, 4 ila 8km uzunlukta kesin olarak bir hasar gerçekleşeceği düşünüldüğünde, yüksek değerlerdir ve su kaynağı ile su pompa istasyonu arasındaki bağın kesin olarak kopması anlamına gelir.

Risk çalışması katalog kullanılarak ve olasılıksal olarak gerçekleştirildiği için, istendiğinde aynı verilerden başka deprem seviyeleri için de kilometre boru uzunluğu başına beklenen hasar adedi tespit edilebilir. Örneğin Şekil 6'da verilen grafiğin bir benzeri, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan çok büyük ve çok nadir depremler veya 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan küçük ve sık depremler için de üretilebilir. Yine aynı şekilde, kritik noktalar (barajlar, terfi istasyonları, depolar, arıtma tesisleri, gibi...) için de farklı deprem seviyeleri için risk değerleri elde edilebilir. Önerilen yöntem, daha önce İstanbul için JICA tarafından yapılan çalışmanın aksine, belirli bir senaryo depremi için değil, farklı seviyeler için risk

hesabı yapmayı mümkün kılmaktadır. Bu durum, karar vericilerin işini kolaylaştırabilir.

Daha önce bölgesel ölçekte gömülü isale hatlarının deprem riskine yönelik en önemli iki çalışma, JICA'nın İstanbul için yaptığı çalışma (JICA, 2002) ile HAZUS yöntemi kapsamında yapılan çalışmalardır. Esasen JICA çalışması da, büyük oranda HAZUS yöntemine ve onun içerisinde kullanılan, bu makalede de verilen hasar görülebilirlik fonksiyonlarına bağlıdır. JICA çalışmasında, deterministik senaryo depremleri için hasar dağılımları bulunmuş, bu yapılırken de sadece bir hasar fonksiyonundan faydalanılmıştır. Burada sunulan çalışmada JICA çalışmasından farklı olarak, hem birden fazla hasar fonksiyonunun içerisine yerleştirilebileceği bir mantık ağacı yaklaşımı verilmiştir, hem de katalog depremler kullanılarak deterministik değil olasılıksal olarak deprem hasar dağılımını elde etmek mümkün olmuştur. Mantık ağacı ile birçok farklı hasar fonksiyonunun dahil edilebilmesi zaten burada sunulan yöntemin HAZUS yönteminden de en temel farkıdır zira burada sunulan olasılıksal yöntem PEER olasılıksal yaklaşımı üzerine bina edilmiştir.

## Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmada kullanılan katalog deprem verilerinin sağlanmasındaki yardımları için EUCENTRE OpenQuake ekibine, özellikle Sevgi Aktaş Özcebe ve Vitor Silva'ya teşekkür ederler.

## Kaynaklar

- ALA., (2001). Seismic fragility formulations for water systems, American Society of Civil Engineers ASCE and Federal Emergency Management Agency FEMA, [www.americanlifelines.org](http://www.americanlifelines.org), Jan.2002
- Barenberg, M. E., (1988). Correlation of pipeline damage with groundmotions, *J. Geotech. Engrg.*, 114(6), 706–711.
- Eguchi, R. T., (1983). Seismic vulnerability models for underground pipes, *Proc., Earthquake Behavior and Safety of Oil and Gas Storage Facilities, Buried Pipelines and Equipment*, ASME, New York, 368–373.
- Eguchi, R. T., (1991). Seismic hazard input for lifeline systems, *Struct. Safety*, 10, 193–198.

- Eidinger, J., (1998). Water distribution system, *The Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989—Lifelines*, A. J. Schiff, ed., U.S. GPO, Washington, D.C., A63–A78.
- FEMA, (1999). *Earthquake loss estimation methodology HAZUS-MH—Technical manual*, <http://www.fema.gov/hazus> ,2001.
- Hwang, H., Lin, H., (1997). GIS-based evaluation of seismic performance of water delivery systems, *Technical Rep. Prepared for CERI*, Univ. of Memphis, Memphis, Tenn.
- Isoyama, R., Ishida, E., Yune, K., Shirozu, T., (2000). Seismic damage estimation procedure for water supply pipelines, *Proc., 12th World Conf. on Earthquake Engineering*, CD-ROM, New Zealand Society for Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 8.
- Jeon, S. S., O'Rourke, T. D., (2005). Northridge earthquake effects on pipelines and residential buildings, *Bull. Seismol. Soc. Am.*,95(1), 294–318.
- Katayama, T., Kubo, K., Sato, N., (1975). Earthquake damage to water and gas distribution systems, *Proc., U.S. National Conf. On Earthquake Engineering*, EERI, Oakland, Calif., 396–405.
- Newmark, N.M., (1967). Problems in wave propagation in soil and rocks, *Proc., Int. Symp. on Wave Propagation and Dynamic Properties of Earth Materials*, University of New Mexico Press, Albuquerque, N.M.
- O'Rourke, M. J., Ayala, G., (1993). Pipeline damage due to wave propagation, *J. Geotech. Engrg.*, 119(9), 1490–1498.
- O'Rourke, M. J., Deyoe, E., (2004). Seismic damage to segmented buried pipe, *Earthquake Spectra*, 20(4), 1167–1183.
- O'Rourke, T. D., Jeon, S.S., (1999). Factors affecting the earthquake damage of water distribution systems, *Proc., 5th U.S. Conf. on Lifeline Earthquake Engineering*, ASCE, Reston, Va., 379–388.
- Pineda, O., and Ordaz, M., (2003). Seismic vulnerability function for high-diameter buried pipelines: Mexico City's primary water system Case, *Proc., 2003 ASCE Int. Conf. on Pipeline Engineering and Construction*, ASCE, Reston, Va.
- Toprak S., Taşkın F., (2007). Estimation of earthquake damage to buried pipelines caused by ground shaking, *Natural Hazards*, Vol.40, pp 1-24.
- Toprak, S., (1998). Earthquake Effects on Buried Lifeline Systems, Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- Akenori, S., (2006). Estimation of earthquake damage to urban systems, *Structural Control and Health Monitoring*, 13 454-471.
- Adachi, T., Elingwood, B.R., (2010). Comparative assessment of civil infrastructure network performance under probabilistic and scenario earthquakes, *Journal of Infrastructure Systems* ,Vol.16,1-10.
- Yoo, D.G., Kang, D. S., Kim, J. H., (2013). Seismic Reliability Assessment Model of Water Supply Networks, 'World Environmental and Water Congress 2013', *Showcasing the future ASCE 2013*, 955-966.
- Kameda, H., (2000). Engineering management of lifeline systems under earthquake risk, *12. WCEE Conference*, 248-264.
- Fragiadakis, M., Christodolou, S.E., (2014). 'Seismic reliability assessment of urban water networks', *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, (43) 357-374.
- Porras, O.P., Schroeder, M.O., (2003). Seismic vulnerability function for high diameter buried pipelines Mexico City's primary water system, *New Pipeline Technologies, Security and Safety* , 1145-1154
- Pineda-Porras, O., Najafi M., (2010). Seismic damage estimation for buried pipelines: challenges after three decades of progress, *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, Vol.1 no. 1, 19-24.
- Akkar, S., Bommer, J.J., (2007). Empirical prediction equations for peak ground velocity derived from strong-motion records from Europe and Middle East, *Bulletin of the Seismological Society of America* Vol.97 no.2,511-530.
- Silva, V., Crowley, H., Pagani, M., Monelli, D., Pinho, R., (2013). Development of the Openquake Engine, the Global Earthquake Model's open-source software for seismic risk assessment, *Natural Hazards*, DOI: 10.1007/s11069-013-0618-x.
- Woessner J., Danciu L., Giardini D., Crowley H., Grunthal G., Valensise G., Arvidsson R., Basili R., Demircioğlu M., Hiemar S., Meletti C., Muson R., Rovida A., Sesetyan K., Stucchi M., (2015). The 2013 European Seismic Hazard Model – Key Components and Results, *Bulletin of Earthquake Engineering* 13, no.12, 3553-3596.
- ([www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/DepremSite/PublishingImages/JICA-TUR.pdf](http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/DepremSite/PublishingImages/JICA-TUR.pdf)).

## Probabilistic seismic damage estimation in water mains and an example application

### Extended abstract

*Strong seismic events damage the built environment that includes also the lifeline systems. One of the most important infrastructures needed in the complex aftermath of a strong earthquake is the water mains that supply potable water to the citizens. Even if the houses are inhabitable after the event, lack of water jeopardizes the recovery process.*

*Water main networks are complex structures since they consist of several pipeline systems interconnected to each other and to critical facilities such as dams, water treatment facilities or to water storages. Furthermore, the pipelines may be built by using various material types and connection methods. One of the most important challenges, of course, stems from the fact that these structures are mostly underground and not maintained several decades in most of the cases.*

*Damage and seismic risk estimation of such complex systems is quite difficult due to the main reasons listed above. In this paper, a probabilistic approach is proposed for estimating the seismic risk on water main networks. The method is based on the PEER probabilistic framework and involves the use of a stochastic earthquake catalogue, an inventory of pipelines, and high resolution GIS data.*

*The first step of the approach is to place the layer of pipelines over the layer of geocells in GIS environment. The geocells contain soil data for a high-resolution field, such as 0.005x0.005 degrees as used in this study. This process results in a very high number of pipeline pieces. The second step is to define a stochastic earthquake catalogue, preferably of 10K or 20K years long. The analyses then continue running pipeline damage vulnerability functions for every single event in the catalogue as well as for every pipeline piece. This analysis is challenging not only in terms of time of analysis but also in terms of the available memory usage in the computers. In the software prepared for this study, several optimizations and a parallel computation approach had to be developed. The analyses conducted in 4 computers in parallel and resulted in 4 to 5 days of process for whole Istanbul.*

*After the analyses are completed, an annual seismic risk curve is created for every pipeline piece. This curve presents the damage per kilometer versus the*

*probability of exceedance annually. It should be noted that this is a Poisson process which means that the results are time-independent (i.e. a recent major seismic event would not affect the annual probability of exceedance). Obtaining annual seismic risk curves allows the user to then translate the curve into expected damages for a given return period or for a level of probability of exceedance in certain years. For instance, once the proposed analyses are completed, the user can extract the damage per kilometer for an earthquake level of 475 years return period, or for 2475 etc. As opposed to most of the existing studies, this approach allows the decision maker to be able to check the spatial distribution of the expected damages for varying seismic levels.*

*The proposed method is finally applied to two pipelines in the European side of Istanbul. These are  $\phi 2200\text{mm}$  and  $\phi 1000\text{mm}$  steel pipelines that connect an important water reservoir to a pumping station and to a water treatment facility.*

*The risk on the buried pipelines is often given with the risk metric of repair-per-km. The risk assessment on the two critical pipelines for an earthquake scenario of 10% probability of exceedance in 50 years shows repair-per-km between 0.12 and 0.24. These values are quite high considering that at least one significant damage is expected for a 4 to 8km length. In this case, the studied connection between the water source and the pumping station is expected to fail with a certainty. By using the holistic approach presented here, it was possible to present the expected damage levels graphically for the selected seismic level. The method can successfully be applied to the entire water system of Istanbul or to similar complex water main networks under seismic threat.*

*The main difference of the approach proposed in this paper from the previous JICA study for Istanbul is the probabilistic representation of the seismic risk, as opposed to deterministic one, as well as the ability of the method to allocate various vulnerability functions within logic trees. The HAZUS approach, for example, similar to the JICA approach, uses a single set of pipeline vulnerability functions reducing the method to a deterministic one in the vulnerability part.*

**Keywords:** Water mains; seismic risk; buried pipelines