



**SELÇUK  
ÜNİVERSİTESİ**

**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK - BİLİM VE  
TEKNOLOJİ DERGİSİ**

**SELÇUK UNIVERSITY  
JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE AND  
TECHNOLOGY  
(SUJEST)**

**EISSN 2147-9364**

**HAKEMLİ DERGİDİR**

OWNER/SAHİBİ

Owner on Behalf of Engineering Faculty **Prof. Dr. Ferruh YILDIZ**  
Mühendislik Fakültesi Adına Dekan **Prof. Dr. Ferruh YILDIZ**

Chief Editor/Şef Editör

**Assoc. Prof. Dr. Halife KODAZ**

Editors/Editörler

**Prof. Dr. Halil Kursad ERSOY**

**Prof. Dr. Ihsan OZKAN**

**Prof. Dr. Mustafa TABAKCI**

**Assoc. Prof. Dr. Ahmet Afsin KULAKSIZ**

**Assoc. Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN**

**Assoc. Prof. Dr. Volkan KALEM**

**Assist. Prof. Dr. Alpaslan YARAR**

**Assist. Prof. Dr. Ömer Kaan BAYKAN**

**Assist. Prof. Dr. Selim DOĞAN**

Advisory Board/Danışma Kurulu

Prof. Dr. Dervis KARABOGA, Erciyes University

Prof. Dr. Lena HALOUNOVA, Czech Technical University

Prof. Dr. Petros PATIAS, The Aristotle University

Prof. Dr. Sitki KULUR, Istanbul Technical University

Prof. Dr. Ibaraki SOICHI, Kyoto University

Prof. Dr. Matchavariani LIA, Tbilisi State University

Prof. Dr. Seref SAGIROGLU, Gazi University

Prof. Dr. Vijay P. SINGH, Texas A and M University

Language Editing/Yabancı Dil Editörleri

Prof. Dr. Ali BERKTAY

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

Composition and Printing/Baskı ve Dizgi

Assist. Prof. Dr. Lutfiye KARASAKA

Res. Assist. Ismail KOC

Correspondance Address/Yazışma Adresi

Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Dekanlığı  
42075-Kampüs, Selçuklu, Konya-TURKEY

Tel : 0 332 241 0 634  
Fax : 0 332 241 0 635  
E-mail : [sujest@selcuk.edu.tr](mailto:sujest@selcuk.edu.tr)  
Web : <http://sujest.selcuk.edu.tr>

## **Editorial Board/Yayın Kurulu**

Ahmet Afsin Kulaksiz, Konya Technical University, TURKEY

Alla Anohina-Naumeca, Riga Technical University, LATVIA

Ashok K. Mishra, Clemson University, USA

Baris Binici, Middle East Technical University, TURKEY

Coskun Bayrak, University of Arkansas, USA

Demetrio Fuentes Ferrera, University of Castilla-La Mancha, SPAIN

Fahrettin Ozturk, The Petroleum Institute, UAE

Haci Murat Yilmaz, Aksaray University, TURKEY

Heinz Ruther University of Cape Town, SOUTH AFRICA

Homayoun Moghimi, Payame Noor University, IRAN

Ihsan Ozkan, Konya Technical University, TURKEY

John Trinder, The University of New South Wales, AUSTRALIA

Kerim Kocak, Konya Technical University, TURKEY

Loredana Judele, Technical University of Iasi, ROMANIA

Mohamed Bouabaz, Université 20 août 1955-Skikda, ALGERIA

Mohd Arif Wani, California State University, USA

Mortaza Yari, University of Tabriz, IRAN

Mustafa Tabakçi, Konya Technical University, TURKEY

Ömer Kaan Baykan, Konya Technical University, TURKEY

Sanchoy K. Das, New Jersey Institute of Technology, USA

Selim Dogan, Konya Technical University, TURKEY

Spase Shumka, Agricultural University of Tirana, ALBANIA

Tahira Geroeva, Baku State University, AZERBAIJAN

Vladimir Androkhonov, Novosibirsk Soil Research Institute, RUSSIA

Zoran Sapuric, University American College Skopje, MACEDONIA

Ali Kocak, Yildiz Technical University, TURKEY

Alpaslan Yarar, Konya Technical University, TURKEY

Ataur Rahman, University of Western Sydney, AUSTRALIA

Cihan Varol Sam Houston State University, USA

Dan Stumbea, Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, ROMANIA

Eva Burgetova, Czech Technical University, CZECH REPUBLIC

Georgieva Lilia, Heriot-Watt University, UNITED KINGDOM

Halil Kursad Ersoy, Konya Technical University, TURKEY

Hi-Ryong Byun, Pukyong National University, SOUTH KOREA

Huseyin Devenci, Konya Technical University, TURKEY

Iraida Samofalova, Perm University, RUSSIA

Juan Maria Menendez Aguado, University of de Oviedo, SPAIN

Laramie Vance Potts, New Jersey Institute of Technology, USA

Mila Koeva, University of Twente, NETHERLANDS

Mohamed Metwaly Abu Anbar, Tanta University, EGYPT

Moonis Ali Khan, King Saud University, KSA

Murat Karakus, University of Adelaide, AUSTRALIA

Ömer Aydan, University of the Ryukyus, JAPAN

Saadettin Erhan Kesen, Konya Technical University, TURKEY

Selcuk Kursat Isleyen, Gazi University, TURKEY

Shukri Maxhuni, Prizen University, KOSOVA REPUBLIC

Syed Tufail Hussain Sherazi, University of Sindh, PAKISTAN

Thomas Niedoba, AGH University of Science and Technology, POLAND

Volkan Kalem, Konya Technical University, TURKEY

**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK, BİLİM VE TEKNOLOJİ DERGİSİ**  
**Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology**  
**(SUJEST)**

ISSN 2147 – 9364 (Elektronik)

Cilt	7	Haziran	2019	Sayı	2
Volume	7	June	2019	Number	2

**İÇİNDEKİLER (CONTENTS)**

Araştırma Makalesi (Research Article)

**KİMYASAL BUHAR BİRİKTİRME YÖNTEMİ İLE GRAFEN SENTEZİNE TAVLAMA VE BÜYÜTME SÜRELERİNİN ETKİSİ**

Effect of the Annealing and Growth Time on Graphene Synthesis via Chemical Vapor Deposition Method  
.....**Recep ZAN, Gülcan UTKU, Ali ALTUNTEPE 263-271**

**VIBRATION ANALYSIS OF ROTATING TIMOSHENKO BEAMS WITH DIFFERENT MATERIAL DISTRIBUTION PROPERTIES**

Fonksiyonel Derecelendirilmiş Dönen Timoshenko Kirişlerin Titreşim Analizi  
.....**Özge ÖZDEMİR (English) 272-286**

**KONYA/SELÇUKLU İLÇESİ KARBON AYAK İZİNİN BELİRLENMESİ**

Carbon Footprint Investigation of Konya/Selçuklu District  
.....**Mehmet Emin ARGUN, Refik ERGÜÇ, Yunus SARI 287-297**

**OPTIMIZATION OF SYNTHESIS PARAMETERS FOR LEAD OXIDE NANOPARTICLES USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY**

Yüzey Cevap Metodolojisi Kullanılarak Kurşun Oksit Nanoparçacıklarının Sentez Parametrelerinin Optimizasyonu  
....**İsmail Kutlugün AKBAY, Ahmet GÜNGÖR, Rükan GENÇ, Tonguç ÖZDEMİR (English) 298-308**

**İKİ AMAÇLI FARKLI MAKİNE SEÇENEKLİ KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ OPTİMİZASYONU: BULANIK ÇÖZÜM TEKNİĞİ UYGULAMASI**

A Bi-objective Closed Loop Supply Chain with Different Machinery Options: Application of Fuzzy Weighted Additive Approach  
.....**Batuhan Eren ENGİN, Turan PAKSOY 309-320**

**DOĞALTAŞ OCAKLARINDA EKSKAVATÖR OPERATÖRLERİNİN TÜM VÜCUT TİTREŞİM MARUZİYETİNİN İNCELENMESİ**

Investigation of Whole Body Vibration Exposure of Excavator Operators in Natural Stone Quarries  
.....**Ali Ekrem ARITAN, Melek TÜMER 321-330**

**INVESTIGATING USE OF PRESSURE PULSES TO ASSESS NEAR WELLBORE RESERVOIR PARAMETERS**

Kuyu Yakınında Rezervuar Parametrelerinin Belirlenmesinde Basınç Darbesinin Kullanılmasının İncelenmesi

.....İsmail DURGUT, Jon S. GUDMUNDSSON, Alberto Di LULLO (English) 331-345

**GÜÇLENDİRME TEKNİĞİ OLARAK YENİ NESİL ÖN ÜRETİMLİ BETON PANEL UYGULAMASININ ARAŞTIRILMASI**

Investigation of New Generation Precast Concrete Panel Applications as Reinforcement Technique

.....Ceyhan AKSOYLU, Nail KARA 346-361

**TEDARİKÇİ SEÇİMİ UYGULAMALARI: BİLGİ VE İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİ PERSPEKTİFLİ KRİTİK BAKIŞ**

Supplier Selection Applications: A Review from Information and Communication Technologies Perspective

.....Ali Emre KARAÖZ, Gökür Arzu AKYÜZ, Kemal TEKİN 362-378

**THE EFFECT OF GRINDING MEDIA PERFORMANCE ON WET MILLING OF CALCITE**

Kalsitin Yaş Öğütülmesinde Öğütücü Ortam Performansının Etkisi

.....Diler KATIRCIOĞLU BAYEL (English) 379-386

**PROPERTY VALUE ASSESSMENT USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS, HEDONIC REGRESSION AND NEAREST NEIGHBORS REGRESSION METHODS**

Yapay Sinir Ağları, Hedonik Regresyon Ve En Yakın Komşuluk Regresyon Metotlarını Kullanarak Emlak Fiyatlarının Belirlenmesi

.....Hasan YILDIRIM (English) 387-404

**A NOVEL APPROACH BASED ON ELEPHANT HERDING OPTIMIZATION FOR CONSTRAINED OPTIMIZATION PROBLEMS**

Kısıtlı Optimizasyon Problemleri için Fil Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım

.....Hüseyin HAKLI (English) 405-419

**METAL ENDÜSTRİSİNDE KİŞİSEL KORUYUCU DONANIM KULLANIMININ ANALİZİ**

Analysis of Using Personal Protective Equipment in Metal Industry

.....Emin KAHYA, Berna ULUTAŞ, N. Fırat ÖZKAN 420-433

**YALIN CAMSI KARBON ELEKTROT KULLANARAK FARMASÖTİK FORMULASYON VE İNSAN İDRARINDAN KORTİZOLÜN HIZLI KARE DALGA VOLTAMETRIK ANALİZİ**

Fast Square Wave Voltammetric Determination of Cortisol in Pharmaceutical Formulation and Human Urine Using the Bare Glassy Carbon Electrode

.....Ertuğrul KESKİN 434-447

**HASANOĞLAN (KD ANKARA-TÜRKİYE) BÖLGESİNİN JURA-ERKEN KRETASE YAŞLI ÇÖKELLERİNİN SEDİMANTOLOJİK VE LİTOFASİYES ÖZELLİKLERİ**

Sedimentologic and Lithofacies Properties of the Jurassic- Early Cretaceous Deposits in Hasanoğlan (Ne Ankara-Turkey) Region

.....Arif DELİKAN, Tülin HATİPOĞLU 448-466

**STRUCTURAL AND ELECTRONIC PROPERTIES OF B<sub>6</sub>-nC<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) SERIES UPON THE SUBSTITUTION OF BORON ATOMS BY THE C-H GROUPS: A DENSITY FUNCTIONAL THEORY STUDY**

C-H Grupları ile Bor Atomlarının Yer Değiştirilmesi Sonucunda B<sub>6</sub>-nC<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) Serilerinin Yapısal ve Elektronik Özellikleri: Bir Yoğunluk Fonksiyonel Teori Çalışması

.....İskender MUZ (English) 467-477

**KARMAŞIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ TABANLI YAPAY SİNİR AĞLARI İLE YÜZ ALGILAMA**

Face Detection in Image Frames and Matching Through Face Database

.....Gülten ELEYAN, Ziya TELATAR 478-493

**DEVELOPMENT OF A WIRELESS PRESSURE SENSOR MODULE TO CONVERT THE MOBILE PHONES INTO DIVE COMPUTERS**

Akıllı Telefonları Dalış Bilgisayarına Dönüştürmek İçin Kablosuz Basınç Algılayıcı Modülü Geliştirilmesi

.....Miraç MEMİŞOĞLU, Tamer ÖZYİĞİT, Seçil ŞATIR, Salih Murat EĞİ (English) 494-508

**SERVQUAL ÖLÇEĞİ İLE YAŞLI BAKIMEVLERİNDE HİZMET KALİTESİNİN ÖLÇÜMÜ**

The Measurement of Service Quality in Elder Care House with Servqual

.....Suna ÇETİN, Hamza KUZUCU 509-523

**KİTOSAN/ter(GMA-MA-NTBA) POLİMER İLE MİKROKAPSÜL HAZIRLAMA VE KARAKTERİZASYONU**

Preparation and Characterization of Chitosan/ter(GMA-MA-NTBA) Polymer Microcapsules

.....İdris SARGIN 524-535

## KİMYASAL BUHAR BİRİKTİRME YÖNTEMİ İLE GRAFEN SENTEZİNE TAVLAMA VE BÜYÜTME SÜRELERİNİN ETKİSİ

<sup>1</sup>Recep ZAN, <sup>2</sup>Gülcan UTKU, <sup>3</sup>Ali ALTUNTEPE

<sup>1,2</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fak., Fizik Bölümü, Niğde  
<sup>1,3</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Nanoteknoloji Uyg. ve Arş. Merkezi Niğde  
<sup>1</sup>recep.zan@ohu.edu.tr, <sup>2</sup>gcan\_yil@hotmail.com, <sup>3</sup>altuntepeali@hotmail.com

(Geliş/Received: 17.09.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 09.12.2018)

**ÖZ:** Son yılların en ilgi çekici malzemelerinden biri olan grafen yüksek iletkenlik, yüksek dayanım ve saydamlık gibi birçok üstün özelliğe sahiptir. Grafenin kimyasal buhar biriktirme tekniği kullanılarak sentezlenmesinde, büyüme sıcaklığı, büyüme süresi, tavlama süresi, basınç, kullanılan alt-taş, kullanılan gazların saflıkları ve akış miktarları gibi birçok parametre etkilidir. Bu parametrelerden büyüme ve tavlama süreleri grafen sentezinde en önemli parametrelerdendir, bu nedenle bu çalışmada büyüme ve tavlama sürelerinin tek katmanlı homojen grafen sentezine olan etkisi araştırılmıştır. Farklı büyüme ve tavlama süreleri kullanılarak üretilen grafen filmler Raman Spektroskopisi tekniği kullanılarak karakterize edilmiş olup tek tabakalı homojen grafen sentezi için üretim süreci optimize edilmiştir. Genel anlamda tavlama sürelerinin 20 dakikadan 40 dakikaya kadar arttırıldığı deney gruplarında grafen kalitesinde ciddi bir değişim gözlenmemiştir. Büyütme sürelerinin arttırıldığı deney gruplarında ise 40 dakikaya kadar olan süre artışlarıyla doğru orantılı olarak grafen kalitesinin iyileştiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Büyütme Süresi, CVD, Grafen, Metan Gazı, Raman Spektroskopisi, Tavlama Süresi

### Effect of the Annealing and Growth Time on Graphene Synthesis via Chemical Vapor Deposition Method

**ABSTRACT:** Due to its superior properties such as, has high conductivity, high durability and transparency, graphene is one of the most attractive material in recent years. The important parameters that affects graphene synthesis using chemical vapour deposition technique are growth temperature, growth time, annealing time, pressure, growth substrate, gas purity and gas flows. Among these parameters the growth time and annealing time are the most important parameters for graphene growth, thus in this study the effect of growth and annealing time on homogenous single layer graphene were investigated. The grown graphene films by using different growth and annealing time were characterized via Raman Spectroscopy technique and as a result single layer graphene growth process were optimized. In general, there was no significant change in the quality of the graphene in the experimental groups where the annealing time was increased from 20 minutes to 40 minutes. In the experimental groups where the growth time was increased, it was determined that the graphene quality improved with the time increases up to 40 minutes.

**Key Words:** Annealing Time, CVD, Graphene, Growth Time, Methane Gas, Raman Spectroscopy

### GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son zamanların en popüler araştırma konuları arasında yer alana grafen, bal peteği yapısına sahip olup yüksek iletkenlik, yüksek ışık geçirgenliği, yüksek dayanım ve esneklik gibi özelliklere sahip olmasından dolayı malzeme biliminde ilgi odağı haline gelmiştir (Ago ve diğ., 2012; Aïssa ve diğ., 2015).

Bu üstün özelliklerinden dolayı grafen; transistörler, güneş hücreleri, yakıt pilleri, enerji depolama, bataryalar gibi birçok alanda kullanıma imkân sağlanmaktadır. Karbonun formlarından biri olan grafen fulleren, karbon nanotüp ve grafitin yapı taşı oluşturmaktadır (Geim ve Novoselov, 2007). Çevre dostu uygulamaların gelişmesine önemli derecede katkı sağlayan bu malzeme özellikle yenilenebilir enerji alanına önemli katkılar sağlayabilecektir (Bonaccorso ve diğ., 2015). Bu kapsamda grafen sentezi için araştırmacılar birçok yöntem üzerinde çalışmış ve daha kaliteli ve kolay grafen sentezi yöntemi için çalışmalarını sürdürmektedirler.

Grafen sentezi için mekanik ayrıştırma, kimyasal ayrıştırma, kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve epitaksiyel büyütme gibi birçok yöntem kullanılabilir. Mekanik ayrıştırma yöntemi ile tek katmanlı ve tek kristal yapıda kaliteli grafen filmler elde edilmesine karşın malzeme boyutu sınırlı kalmaktadır. Bu durum ayrıca, bu yöntemle sentezlenen grafenin uygulanabilme alanlarını kısıtlamakta ve endüstriyel üretim için uygun olmamaktadır. Bu anlamda grafenin geniş alanda tek katmanlı ve ince film olarak elde edilmesi ancak CVD yöntemi ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntem ile grafen sentezinin; kolay, hızlı, görece düşük maliyetli ve yaygın kullanım alanlarına sahip olması gibi birçok avantaj sağlamasına karşın sentez sürecinde her üretim parametresinin optimizasyonunun sağlanması ve kullanılan gaz ve alttaşların yüksek saflıkta olması gerekliliği bu yöntemin dezavantajları arasında ifade edilebilir (Li ve diğ., 2009; Liang ve diğ., 2011). CVD yöntemiyle sentezlenen grafenin; transistörler, sensörler, enerji depolama, güneş hücreleri gibi daha çok elektronik ve opto-elektronik uygulamaları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, kimyasal ayrıştırma (Hummers) yöntemi ile sentezlenen toz formundaki grafen/grafen oksit yapılar kompozitlerde, boya malzemelerinde, yüzey kaplamaları gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir.

CVD yöntemi ile grafen sentezinde kullanılan gazların türü, saflığı ve akış oranları homojen ve kaliteli grafen sentezi için oldukça önemli faktörlerdendir (Li ve diğ., 2011). Ayrıca, homojen grafen sentezinde gaz parametrelerinin yanında sıcaklık, büyütme ve tavlama süreleri, kullanılan alt-taşlar gibi birçok parametre etkilidir. Tek parametre değişimi ile sentezlenen grafenin kalitesi etkilenebilmektedir. Çünkü farklı büyütme ve tavlama sürelerinde yapılan grafen sentezi işlemlerinde çok farklı grafen yapıları elde edildiği bilinmektedir (Mattevi ve diğ., 2011).

Metan gazının karbon kaynağı olarak kullanıldığı bu çalışmada, tek katlı homojen grafen sentezi için tavlama süreleri ve büyütme süreleri değiştirilerek bu parametrelerin grafen sentezine olan etkisi araştırılmış ve sentez süreci optimize edilmiştir. Karakterizasyon için temel olarak Raman spektroskopisi tekniği kullanılmıştır.

## **MALZEME ve METOT (MATERIAL METHOD)**

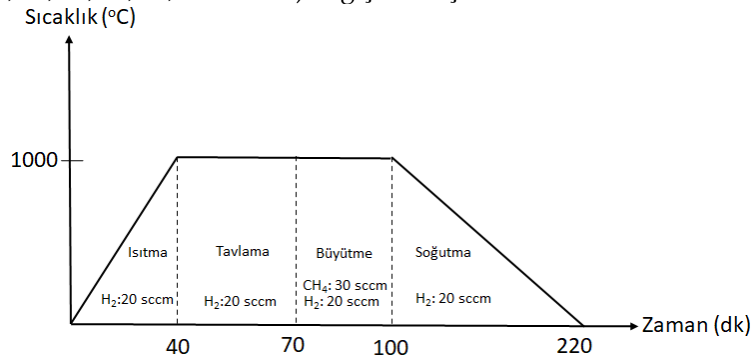
### **Malzeme (Material)**

Grafen sentezi için laboratuvarımız bünyesinde yer alan üç bölgeli ve altı gaz akış kanalına sahip CVD sistemi kullanılmıştır. CVD fırını içinde yer alan kuartz tüp 10 cm çapında ve toplam 85 cm büyüklüğünde olup, büyütmenin yapıldığı fırın bölgesi yaklaşık 25 cm boyundadır. Bu sistem kullanılarak yapılan büyütme işlemlerinde karbon kaynağı olarak %99,9995 saflıkta Metan (CH<sub>4</sub>) ve hidrojen kaynağı olarak %99,9999 saflıkta Hidrojen (H<sub>2</sub>) gazı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında her adımda sadece tek parametre olmak üzere, tavlama ve büyütme süreleri değiştirilerek tek katmanlı homojen grafen sentezi gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Grafen büyütme süresince kullanılan gazlar ve akış oranları, basınç, sıcaklık ve kullanılan alt-taş gibi sentezi etkileyen diğer tüm parametreler sabit tutulmuştur. Büyütme işlemlerinde daha önce tek katlı grafen sentezi için optimize edilen 30 sccm CH<sub>4</sub> ve 20 sccm H<sub>2</sub> gaz akış oranları bütün büyütme işlemlerinde sabit olarak kullanılmıştır. Grafen sentezi 25 µm kalınlıkta poli-kristal bakır folyo üzerinde gerçekleştirilmiş olup, büyüme öncesinde bu yüzeylere muhtemel kirlilikleri gidermek amacıyla IPA, saf su ve aseton ile temizleme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra sentezlenen grafen tabakaları karakterizasyon amacıyla "wet transfer" adı verilen teknik kullanılarak SiO<sub>2</sub>/Si alt-taşlar üzerine transfer edilmiştir (Bae ve diğ., 2010). Raman spektroskopisi deneyleri 633 nm dalga boyuna sahip lazer kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



### Metot (Method)

Şekil 1’de grafen sentezi için kullanılan süreç ve parametreleri içeren grafik verilmiştir. Bu grafik grafen sentez sürecini genel olarak ifade etmek için kullanılmıştır. Bu anlamda grafikte verilen, ısıtma, tavlama, büyütme ve soğutma süreleri ile gaz akış oranları yapılan her deney grubu için ayrı belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında ısıtma ve soğutma süreleri, gaz akış oranları ve basınç değerleri yapılan tüm deneylerde sabit tutulmuş olup bu sabit değerler için literatürden ve önceki çalışmalarımızdan yararlanılmıştır (Choi ve diğ., 2010; Mattevi ve diğ., 2011). Yapılan deneylerle tavlama ve büyütme sürelerinin değişiminin grafen sentezine olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda her deney grubunda öncelikle tavlama süresi (20, 30 ve 40 dakika) sabit tutularak büyütme süreleri (15, 20, 25, 30, 35, 40 dakika) değiştirilmiştir.



Şekil 1. Grafen sentez süreci

Figure 1. Graphene synthesis process

Çizelge 1’de belirtildiği gibi tavlama süresi (annealing time) başlangıçta 20 dakika sabit kalacak şekilde büyütme süresi (growth time) 15 dakikadan 40 dakika ya kadar 5’er dakika arttırılarak bakır üzerinde grafen sentezi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra aynı işlem tavlama süresi 30 dakika ve 40 dakika olacak şekilde ve diğer parametreler önceki işlemlerle aynı kalacak şekilde uygulanarak büyütme süresi ve tavlama süresinin grafen sentezine etkisi araştırılmış ve sentez sürecinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Büyütme sıcaklığı tüm deneyler için 1000 °C’ de sabit tutulmuş olup büyütme işlemleri  $10^{-1}$  torr vakumda gerçekleştirilmiştir. Bu basınç değeri CVD sistemine bağlı vakum pompasının varabildiği en iyi değer olduğundan kullanılmıştır, aksi durumda daha yüksek ve daha düşük basınç koşullarında da farklı sentez parametreleri kullanılarak grafen sentezi gerçekleştirilebilmektedir.

Çizelge 1. Tek katlı grafen sentezi için tavlama süresi ve büyütme süresi optimizasyonu

Table 1. Optimized annealing and growth time for single layer graphene growth

H <sub>2</sub> (sccm)	CH <sub>4</sub> (sccm)	Isıtma (dk)	Tavlama (dk)	Büyütme (dk)
20	30	40	20 (30-40)	15
20	30	40	20 (30-40)	20
20	30	40	20 (30-40)	25
20	30	40	20 (30-40)	30
20	30	40	20 (30-40)	35
20	30	40	20 (30-40)	40

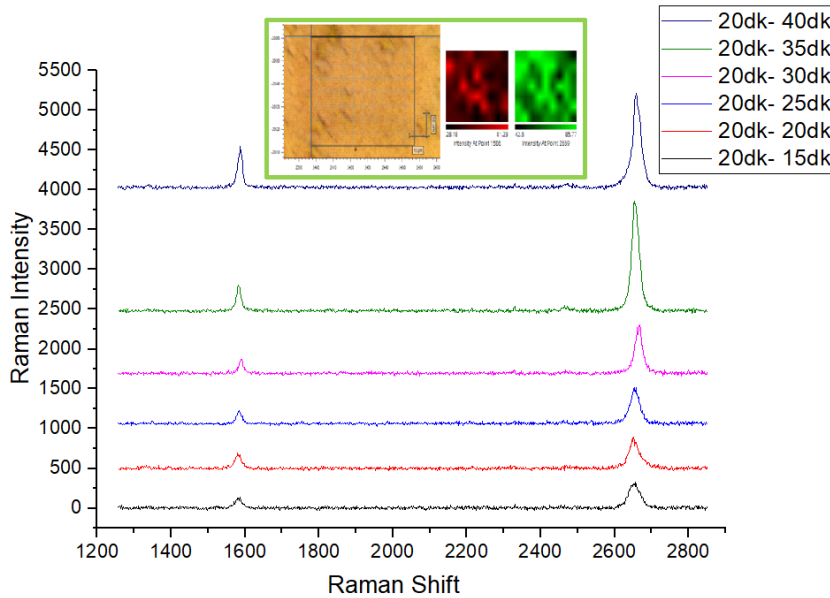
Sentezlenen grafen filmlerin karakterizasyonu için temel olarak Raman spektroskopisi tekniği kullanılmış olup, ölçümler 633 nm dalga boyuna sahip lazer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel ölçümlerde Raman spektrumları ve Raman haritaları elde edilmiştir. Grafene ait Raman spektrumlarında sırasıyla D, G, 2D olarak adlandırılan pikler ortaya çıkmaktadır ve bu pikler grafene ait kusurlar, film kalınlıkları ve film kalitesi hakkında bilgiler sağlamaktadırlar (Ferrari ve diğ., 2006; Li ve diğ., 2009). D piki olarak adlandırılan pik grafen kusurlarını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. 2D

ve G pikleri ise literatürde birbirlerine oranlanarak tek katlı ya da çok katlı grafen katmanı belirlenmesinde kullanılmaktadır aynı zamanda 2D pikinin pozisyonu da bu konu hakkında bilgi vermektedir. Grafen kalitesini belirlemede diğer önemli parametreler grafene ait  $I_{2D}/I_G$  oranı, 2D piki için FWHM (maksimum yarı tam genişlik) ve piklerin bulunduğu merkezlerdir. Tek katmanlı grafene ait FWHM değeri literatürde ortalama  $27,5 \pm 3,8 \text{ cm}^{-1}$  olarak belirlenmiş ve tek katmandan 3 katmana kadar  $I_{2D}/I_G$  oranı için bu değer 1,29~1,55 arasında belirlenmiştir. Grafen katman sayısının artışı ile FWHM'nin arttığı bilindiğinden, katman sayısının belirlenmesinde kullanılan etkin bir parametredir (Hao ve diğ., 2010; Capasso ve diğ., 2015).

## BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

### Tavlama Süresinin 20 Dakika Sabit Tutulup Büyütme Süresinin 15 Dakikadan 40 Dakikaya Kadar Değişimi ile Grafen Sentezi (Graphene Synthesis with Annealing Time Constant for 20 Minutes and a Change in the Magnification Time from 15 Minutes to 40 Minutes.)

Tavlama süresinin 20 dakika tutulup, büyütme süresinin 15 dakikadan 40 dakikaya kadar 5'er dakikalık zaman aralıklarıyla arttırılarak elde edilen numunelerin (6 adet) karakterizasyonu sonrasında elde edilen sonuçlarda tüm büyütme işlemlerinde grafen sentezi başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği anlaşılmıştır. Ancak, tavlama süresinin 20 dakika, büyütme süresinin 35 dakika olduğu numunelerde tek katlı ve homojen grafen sentezinin daha başarılı bir şekilde gerçekleştiği Şekil 2'de verilen Raman spektroskopisi grafiğinden ve Raman haritalarından anlaşılmaktadır. Her ne kadar diğer parametrelerin (sürelerin) kullanımı ile grafen sentezi gerçekleştirilebilmiş olsa da tek tabakalı ve homojen grafen sentezi mümkün olmamıştır. Raman spektrumlarından grafen sentezinde büyütme süresinin 15 dakikadan 35 dakikaya kadar 5'er dakikalık adımlarla arttırılması ile grafen kalitesinin doğru orantılı olarak arttığı ve sonrasında kalitenin düştüğü gözlenmiştir. Tüm bu verilen bilgilerden yola çıkarak Çizelge 2'de gösterildiği gibi tavlama süresinin 20 dakika büyütme süresinin 35 dakika olduğu durumda FWHM değeri  $23 \text{ cm}^{-1}$  ve  $I_{2D}/I_G$  oranı 3,95 olarak belirlenmiştir.



**Şekil 2.** Tavlama süresinin 20 dakika sabit tutulup büyütme süresinin 15 dakikadan 40 dakikaya kadar değiştirilerek sentezlenen grafenin Raman spektroskopisi sonuçları. Grafiğin içinde yer alan yeşil dikdörtgen içinde haritalama yapılan bölgenin optik mikroskop görüntüsü (sarı renkli) ve en iyi grafen tabakasına ait Raman haritalarını (G ve 2D pikleri) içermektedir.

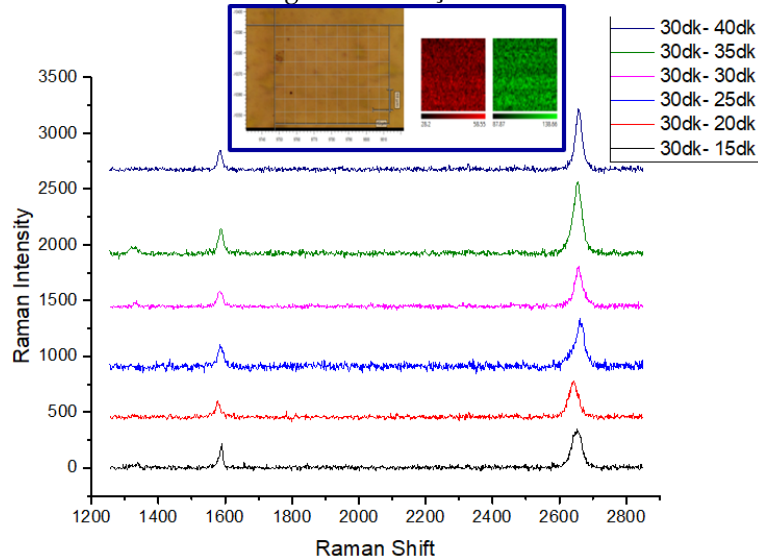
**Figure 2.** Annealing time was kept 20 min. constantly and growth time was changed from 15min. to 40 min. and these figure represents to Raman spectroscopy results according to these parameters.

**Çizelge 2.** 20 dakika tavlanan grafen filmlerine ait  $I_{2D}$ ,  $I_{2D}/I_G$  ve FWHM değerleri*Table 2.  $I_{2D}$ ,  $I_{2D}/I_G$  ve FWHM values of annealed graphene films for 20 mins.*

Deneyler	Tavlama Süresi	Büyütme Süresi	Pik Pozisyonu	$I_{2D}/I_G$	FWHM
A1	20	15	2653 $\text{cm}^{-1}$	2,5	39 $\text{cm}^{-1}$
A2	20	20	2652 $\text{cm}^{-1}$	2,37	30 $\text{cm}^{-1}$
A3	20	25	2653 $\text{cm}^{-1}$	2,69	30 $\text{cm}^{-1}$
A4	20	30	2664 $\text{cm}^{-1}$	3,32	26 $\text{cm}^{-1}$
A5	20	35	2653 $\text{cm}^{-1}$	3,95	23 $\text{cm}^{-1}$
A6	20	40	2657 $\text{cm}^{-1}$	2,23	26 $\text{cm}^{-1}$

### Tavlama Süresinin 30 Dakika Sabit Tutulup Büyütme Süresinin 15 Dakikadan 40 Dakikaya Kadar Değişimi ile Grafen Sentezi (Graphene Synthesis with Annealing Time Constant for 30 Minutes and a Change in the Magnification Time from 15 Minutes to 40 Minutes.)

Bir sonraki araştırmamızda tavlama süresi 30 dakika olarak belirlenmiş (sabit) ve büyütme süresi ise yine 15 dakikadan 40 dakikaya kadar değiştirilmiştir. Şekil 3’de Raman spektroskopisine ait sonuçlar incelendiğinde burada tavlama süresi 30 dakika ve 40 dakikalık büyütme süresi ile gerçekleştirilen grafen sentezinin daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu parametrelerle sentezlenen grafen tabakasının homojenliği ayrıca Şekil 3’te verilen Raman haritalarından da anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra Çizelge 3’te verildiği gibi  $I_{2D}/I_G$  oranı tavlama süresi 30 dakika ve büyütme süresi 40 dakika olan çalışma için 3,76 FWHM değeri ise 26  $\text{cm}^{-1}$  olarak belirlenmiştir ve belirtilen parametreler için başarılı bir şekilde tek katlı ve homojen grafen sentezi gerçekleştirilmiştir. Diğer büyütme parametreleri incelendiğinde ise 40 dakikaya kadar olan büyütme adımlarında değerlerin iyileştiği görülmektedir sonraki süreler için sentezlenen grafenin kalitesinde değişme olmadığı gözlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda 30 dakika tavlama süresine karşın 45 ve 50 dakika büyütme sürelerinde elde edilen grafen tabakalarının kalitesinin etkilenmediği belirlenmiştir.



**Şekil 3.** Tavlama süresinin 30 dk sabit tutulup büyütme süresinin 15 dk’dan 40 dk’ya kadar değiştirilerek sentezlenen grafenin Raman spektroskopisi sonuçları. Grafiğin içinde yer alan mavi dikdörtgen içinde haritalama yapılan bölgenin optik mikroskop görüntüsü (sarı renkli) ve en iyi grafen tabakasına ait Raman haritalarını (G ve 2D pikleri) içermektedir

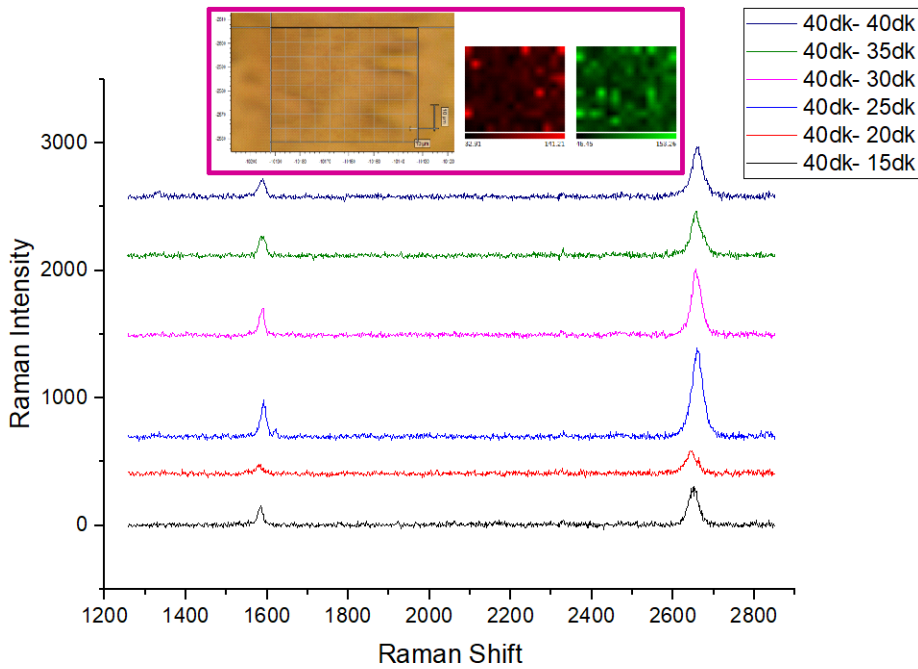
*Figure 3. Annealing time was kept 30 min. constantly and growth time was changed from 15min. to 40 min. and these figure represents to Raman spectroscopy results according to these parameters. Blue rectangular inside the graph shows optical image of the area where the maps were taken and the best graphene Raman maps (G and 2D)*

**Çizelge 3.** 30 dakika tavlanan grafen filmlere ait  $I_{2D}$ ,  $I_{2D}/I_G$  ve FWHM değerleri*Table 3.  $I_{2D}$ ,  $I_{2D}/I_G$  ve FWHM values of annealed graphene films for 30 mins.*

Deneyleyler	Tavlama Süresi	Büyütme Süresi	Pik Pozisyonu	$I_{2D}/I_G$	FWHM
B1	30	15	2654 $\text{cm}^{-1}$	1,43	22 $\text{cm}^{-1}$
B2	30	20	2643 $\text{cm}^{-1}$	2,91	34 $\text{cm}^{-1}$
B3	30	25	2662 $\text{cm}^{-1}$	3,03	35 $\text{cm}^{-1}$
B4	30	30	2657 $\text{cm}^{-1}$	3,55	28 $\text{cm}^{-1}$
B5	30	35	2654 $\text{cm}^{-1}$	3,89	26 $\text{cm}^{-1}$
B6	30	40	2656 $\text{cm}^{-1}$	3,76	26 $\text{cm}^{-1}$

#### Tavlama Süresinin 40 Dakika Sabit Tutulup Büyütme Süresinin 15 Dakikadan 40 Dakikaya Kadar Değişimi ile Grafen Sentezi (Graphene Synthesis with Constant Annealing Time for 40 Minutes and Change of Time from 15 Minutes to 40 Minutes)

Bu adımda da büyütme süreleri önceki çalışmalara benzer olacak şekilde 15 dakikadan 40 dakikaya kadar değiştirilmiştir. Şekil 4’de her bir adım için verilen Raman spektroskopisi grafiklerinden de görüldüğü gibi 40 dakikalık tavlama ve 30 dakikalık büyütme süresi ile gerçekleştirilen grafen sentezinin daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Homojen tek tabakalı grafen sentezine ilişkin bu gözlem ayrıca Şekil 4’te verilen Raman haritalarından da görülebilmektedir.



**Şekil 4.** Tavlama süresinin 40 dk sabit tutulup büyütme süresinin 15 dk’dan 40 dk’ya kadar değiştirilerek sentezlenen grafenin Raman spektroskopisi sonuçları. Grafiğin içinde yer alan pembe dikdörtgen içinde haritalama yapılan bölgenin optik mikroskop görüntüsü (sarı renkli) ve en iyi grafen tabakasına ait Raman haritalarını (G ve 2D pikleri) içermektedir

*Figure 4. Annealing time was kept 40 min. constantly and growth time was changed from 15min. to 40 min. and these figure represents to Raman spectroscopy results according to these parameters. Pink rectangular inside the graph shows optical image of the area where the maps were taken and the best graphene Raman maps (G and 2D)*

Daha önce verilen bilgilerden yola çıkarak Çizelge 4’de verilen değerler incelendiğinde bu adımda gerçekleşen en iyi değer,  $I_{2D}/I_G = 2,63$  ve  $\text{FWHM} = 30 \text{ cm}^{-1}$  değerine sahip 40 dakikalık tavlama 30 dakikalık büyütme işlemine ait olduğu görülmektedir. Tavlama süresinin 40 dakika olarak sabit tutulduğu bu adımda büyütme sürelerinin değiştirilmesiyle birbirinden çok farklı sonuçlara

rastlanmamıştır genellikle her bir deney adımı için çok katmanlı grafen tabakasına rastlanmıştır. Yapılan bu deney grubu diğer deney grupları ile karşılaştırıldığında homojen yapıya daha az rastlanmıştır.

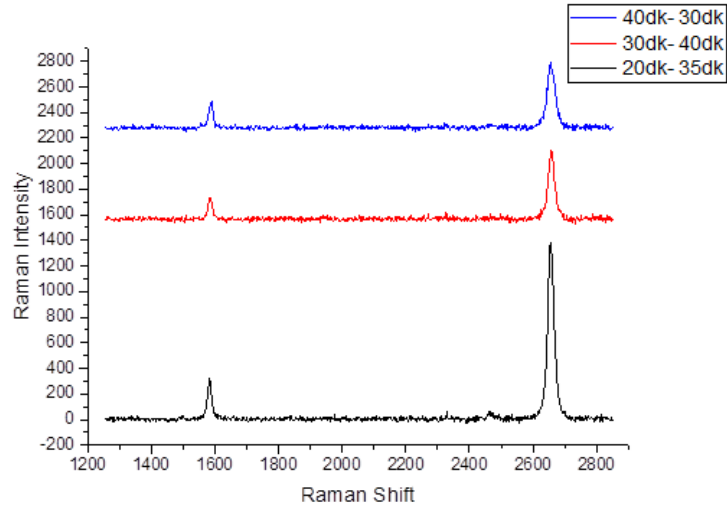
**Çizelge 4.** 40 dakika tavlanan grafen filmlere ait  $I_{2D}$ ,  $I_{2D}/I_G$  ve FWHM değerleri

*Table 4.  $I_{2D}$ ,  $I_{2D}/I_G$  ve FWHM values of annealed graphene films for 40 mins.*

Deneyler	Tavlama Süresi	Büyütme Süresi	Pik Pozisyonu	$I_{2D}/I_G$	FWHM
C1	40	15	2647 $\text{cm}^{-1}$	2,16	33 $\text{cm}^{-1}$
C2	40	20	2643 $\text{cm}^{-1}$	2,42	39 $\text{cm}^{-1}$
C3	40	25	2659 $\text{cm}^{-1}$	2,38	36 $\text{cm}^{-1}$
C4	40	30	2655 $\text{cm}^{-1}$	2,63	30 $\text{cm}^{-1}$
C5	40	35	2655 $\text{cm}^{-1}$	2,21	34 $\text{cm}^{-1}$
C6	40	40	2658 $\text{cm}^{-1}$	2,42	31 $\text{cm}^{-1}$

#### 4. SONUÇLAR (RESULTS)

Yapılan tüm çalışmalar sonucunda deney grupları içerisinde en iyi sonuçlara ait parametreler belirlenip kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'de verilen Raman sonuçları doğrultusunda her bir deney grubu içerisinde en başarılı sonucu veren deneyler karşılaştırılmıştır. Bu anlamda 20 dakika, 30 dakika ve 40 dakikalık tavlama süreleri ile büyütme sürelerinin 15 dakikadan 40 dakikaya kadar değiştirilerek yapılan deneyler sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait Raman spektrumları Şekil 5'de gösterilmiştir ve Çizelge 5'de ise bu deneylere ait parametrelere yer verilmiştir. 20 dakikalık tavlama süresine ait en iyi büyütme süresi 35 dakika, 30 dakikalık tavlama süresine ait en iyi büyütme süresi 40 dakika ve 40 dakikalık tavlama süresine ait en iyi büyütme süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir. 40 dakikalık büyütme süresi kullanılarak bakır yüzey üzerinde sentezlenen grafen tek katmanlı olarak üretilebilmesine karşın filmin homojenliği diğer büyütme sürelerine kıyaslandığında daha düşük kalmaktadır. Büyütme süresinin genellikle karbon çözünürlüğünün daha yüksek olduğu nikel yüzey üzerinde yapılan büyütmelemlerde etkili olduğu ve süre artışı ile birlikte çok katmanlı filmler elde edildiği bilinmektedir (Chae ve diğ., 2009; Wu ve diğ., 2016).



**Şekil 5.** Yapılan çalışmalarda sentezlenen en iyi grafen filmlerin Raman spektroskopisi sonuçları

*Figure 5. Raman spectroscopy results of the best graphene layer*

**Çizelge 5.** Yapılan deneyler sonucunda en iyi büyütmenin elde edildiği parametreler*Table 5. As a result of the experiments performed, the parameters obtained by the best synthesis*

Deneyler	H <sub>2</sub> (sccm)	CH <sub>4</sub> (sccm)	Isıtma (dk)	Tavlama (dk)	Büyütme (dk)
A5	20	30	40	20	35
B6	20	30	40	30	40
C4	20	30	40	40	30

Yapılan grafen sentez deneyleri sonucuna göre sabit tavlama süreleri için büyütme sürelerinin genel olarak 30 dakikadan 40 dakikaya kadar daha başarılı sonuçlar ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Tavlama ve büyütme süreleri ile yapılan önceki çalışmalara bakıldığında optimum tavlama sürelerinin polikristal bakır yüzeylerdeki tanecik sınırlarını arttırdığı ve böylece grafen kalitesini arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca, büyütme sürelerinin artışı ile de grafen kalitesinin arttığı bilinmektedir (Choi ve diğ., 2010; Mattevi ve diğ., 2011). Grafen kalitesine sentez sürecinde bir çok parametre eş zamanlı olarak etki edebileceğinden dolayı aynı parametreler ile gerçekleşen çalışmalarla kıyaslama yapmak daha doğru yorum yapılmasına katkı sağlayacaktır.

Çizelge 6'da bu deney gruplarına ait en iyi sonuçların I<sub>2D</sub>, I<sub>2D</sub>/ I<sub>G</sub> ve FWHM değerleri gösterilmiştir. Tüm bu değerler karşılaştırıldığında ise bu gruplar arasında en iyi sonucun 20 dakika tavlama, 35 dakika büyütme sürelerinde sentezlenen grafenin daha başarılı olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu parametrelerde sentezlenen grafen için; I<sub>2D</sub> = 2653 cm<sup>-1</sup>, I<sub>2D</sub>/ I<sub>G</sub> = 3,95 FWHM = 23 cm<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Bu sonuçların, yapılan deneyler kapsamında en iyi değerler olduğu anlaşılmıştır. Bu kapsamda, 20 dakikalık tavlama, 35 dakikalık büyütme süresi ile yapılan çalışmalar sonucunda homojen tek tabakalı grafen elde edildiğinden dolayı bu parametrelerde grafen sentezi için öne çıkmaktadır.

**Çizelge 6.** Yapılan deneyler sonucunda en iyi grafen filmlere ait I<sub>2D</sub>, I<sub>2D</sub>/ I<sub>G</sub> ve FWHM değerleri*Table 6. Best I<sub>2D</sub>, I<sub>2D</sub>/ I<sub>G</sub> ve FWHM results according to experiments*

Tavlama Süresi	Büyütme Süresi	Pik Pozisyonu	I <sub>2D</sub> / I <sub>G</sub>	FWHM
20	35	2653 cm <sup>-1</sup>	3,95	23 cm <sup>-1</sup>
30	40	2656 cm <sup>-1</sup>	3,76	26 cm <sup>-1</sup>
40	30	2655 cm <sup>-1</sup>	2,63	30 cm <sup>-1</sup>

**TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)**

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 117M401 nolu proje ile desteklenmiştir.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- Ago, H., Ogawa, Y., Tsuji, M., Mizuno, S. ve Hibino, H., 2012, Catalytic growth of graphene: toward large-area single-crystalline graphene, *The journal of physical chemistry letters*, 3 (16), 2228-2236.
- Aïssa, B., Memon, N. K., Ali, A. ve Khraisheh, M. K., 2015, Recent progress in the growth and applications of graphene as a smart material: A review, *Frontiers in Materials*, 2, 58.
- Bae, S., Kim, H., Lee, Y., Xu, X., Park, J.-S., Zheng, Y., Balakrishnan, J., Lei, T., Kim, H. R. ve Song, Y. I., 2010, Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes, *Nature nanotechnology*, 5 (8), 574.
- Bonaccorso, F., Colombo, L., Yu, G., Stoller, M., Tozzini, V., Ferrari, A. C., Ruoff, R. S. ve Pellegrini, V., 2015, Graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems for energy conversion and storage, *Science*, 347 (6217), 1246501.
- Capasso, A., Dikonimos, T., Sarto, F., Tamburrano, A., De Bellis, G., Sarto, M. S., Faggio, G., Malara, A., Messina, G. ve Lisi, N., 2015, Nitrogen-doped graphene films from chemical vapor deposition of pyridine: influence of process parameters on the electrical and optical properties, *Beilstein journal of nanotechnology*, 6, 2028.

- Chae, S. J., Güneş, F., Kim, K. K., Kim, E. S., Han, G. H., Kim, S. M., Shin, H. J., Yoon, S. M., Choi, J. Y. ve Park, M. H., 2009, Synthesis of large-area graphene layers on poly-nickel substrate by chemical vapor deposition: wrinkle formation, *Advanced Materials*, 21 (22), 2328-2333.
- Choi, W., Lahiri, I., Seelaboyina, R. ve Kang, Y. S., 2010, Synthesis of graphene and its applications: a review, *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 35 (1), 52-71.
- Ferrari, A. C., Meyer, J., Scardaci, V., Casiraghi, C., Lazzeri, M., Mauri, F., Piscanec, S., Jiang, D., Novoselov, K. ve Roth, S., 2006, Raman spectrum of graphene and graphene layers, *Physical review letters*, 97 (18), 187401.
- Geim, A. K. ve Novoselov, K. S., 2007, The rise of graphene, *Nature materials*, 6 (3), 183.
- Hao, Y., Wang, Y., Wang, L., Ni, Z., Wang, Z., Wang, R., Koo, C. K., Shen, Z. ve Thong, J. T., 2010, Probing layer number and stacking order of few-layer graphene by Raman spectroscopy, *small*, 6 (2), 195-200.
- Li, X., Cai, W., An, J., Kim, S., Nah, J., Yang, D., Piner, R., Velamakanni, A., Jung, I. ve Tutuc, E., 2009, Large-area synthesis of high-quality and uniform graphene films on copper foils, *Science*, 324 (5932), 1312-1314.
- Li, Z., Wu, P., Wang, C., Fan, X., Zhang, W., Zhai, X., Zeng, C., Li, Z., Yang, J. ve Hou, J., 2011, Low-temperature growth of graphene by chemical vapor deposition using solid and liquid carbon sources, *ACS nano*, 5 (4), 3385-3390.
- Liang, X., Sperling, B. A., Calizo, I., Cheng, G., Hacker, C. A., Zhang, Q., Obeng, Y., Yan, K., Peng, H. ve Li, Q., 2011, Toward clean and crackless transfer of graphene, *ACS nano*, 5 (11), 9144-9153.
- Mattevi, C., Kim, H. ve Chhowalla, M., 2011, A review of chemical vapour deposition of graphene on copper, *Journal of Materials Chemistry*, 21 (10), 3324-3334.
- Wu, X., Zhong, G., D'arsié, L., Sugime, H., Esconjauregui, S., Robertson, A. W. ve Robertson, J., 2016, Growth of continuous monolayer graphene with millimeter-sized domains using industrially safe conditions, *Scientific reports*, 6, 21152.

## VIBRATION ANALYSIS OF ROTATING TIMOSHENKO BEAMS WITH DIFFERENT MATERIAL DISTRIBUTION PROPERTIES

<sup>1</sup>Özge ÖZDEMİR

<sup>1</sup>*Istanbul Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Aeronautical Engineering Department, İSTANBUL*

<sup>1</sup>[ozdemirozg@itu.edu.tr](mailto:ozdemirozg@itu.edu.tr)

(Geliş/Received: 29.07.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 02.11.2018)

**ABSTRACT:** In this study, vibration characteristics of functionally graded rotating Timoshenko beams that undergoes flapwise bending vibration are analysed. Beam models with different material distribution properties are considered. The energy expressions are derived by introducing several explanatory figures and tables. Applying the Hamilton's Principle to the derived energy expressions, governing differential equations of motion and the boundary conditions are obtained. Related formulation is coded by using MATLAB and in the solution part, the equations of motion, including the parameters for the rotary inertia, shear deformation, power law index parameter and slenderness ratio are solved using an efficient mathematical technique, called the differential transform method (DTM). Natural frequencies of the modeled beams are obtained. Increasing effects of the slenderness ratio and the rotational speed and the decreasing effect of the power-law index on the natural frequencies are investigated. Moreover, differences between the natural frequencies of the beam models with different material distribution characteristics is noticed and examined. Obtained results are distributed in several tables.

**Keywords:** *Differential Transform Method, Functionally Graded Beam, Rotating Timoshenko Beam*

### Fonksiyonel Derecelendirilmiş Dönen Timoshenko Kirişlerin Titreşim Analizi

**ÖZ:** Bu çalışma kapsamında, düzlem dışı eğilme (flaplama hareketi) deplasmanı altında fonksiyonel derecelendirilmiş, dönen Timoshenko kirişlerin titreşim analizi yapılmıştır. Farklı malzeme dağılımlarına sahip kiriş modelleri incelenmiş ve enerji ifadeleri, çeşitli şekil ve tablolar kullanılarak çıkarılmış ve bu enerji denklemlerine Hamilton Prensipli uygulanarak hareket denklemleri ve sınır şartları elde edilmiştir ve ilgili denklemler, MATLAB programında kodlanmıştır. Çözüm aşamasında; dönme ataleti, kayma etkisi, malzeme dağılımı üstel fonksiyonu, kiriş narinlik oranı gibi çok çeşitli parametrelerin katıldığı hareket denklemleri ve sınır şartlarına, etkin ve hızlı bir matematiksel yöntem olan Diferansiyel Dönüşüm Yöntemi (Differential Transform Method) uygulanmıştır. Modellenen kirişlere ait doğal frekanslar hesaplanmıştır. Narinlik oranı ve dönme hızının frekanslar üzerindeki yükseltici etkileri ve malzeme dağılımı ile ilgili olarak güç indeksinin, frekanslar üzerindeki azaltıcı etkisi incelenmiştir. Ayrıca, farklı malzeme dağılımı karakterlerine sahip kirişlere air frekans değerleri arasındaki farklar fark edilmiş ve incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, çeşitli tablolarda sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** *Diferansiyel Dönüşüm Yöntemi, Dönen Timoshenko Kiriş, Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kiriş*

### INTRODUCTION

The concept of functionally graded materials (FGMs) was originated from a group of material scientists in Japan as means of preparing thermal barrier materials (Loy *et al.*, 1999). FGMs are special composites that have continuous variation of material properties in one or more directions to provide



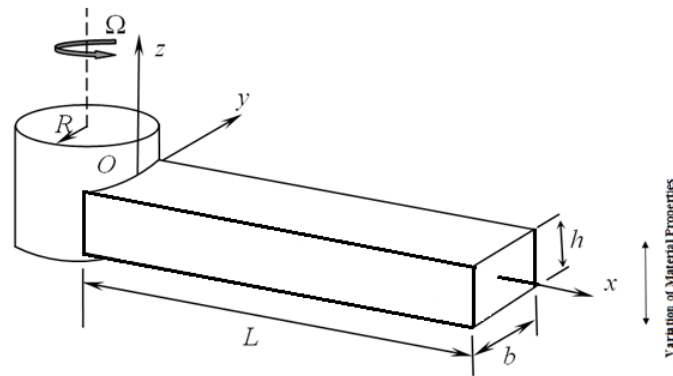
designers with the ability to distribute strength and stiffness in a desired manner to get suitable structures for specific purposes in engineering and scientific fields such as design of aircraft and space vehicle structures, electronic and biomedical installations, automobile sector, defence industries, nuclear reactors, electronics, transportation sector, etc. As a consequence, it is important to understand the static and dynamic behavior of FGMs so it has been an area of intense research in recent years. Especially, functionally graded beam (FGB) structures have become a fertile area of research since beam structures have been widely used in aeronautical, astronautical, civil, mechanical and other kind of installations. Several research papers provide a good introduction and further references on the subject (*Alshorbagy et al., 2011; Chakraborty et al., 2003; Giunta et al., 2011; Huang and Li, 2010; Kapuria et al., 2008; Lai et al., 2012; Li, 2008; Loja et al., 2012; Lu and Chan, 2005; Tai and Vo, 2012; Wattanasakulpong et al., 2012; Zhong and Yu, 2007*).

Due to the increasing application trend of FGMs, several beam theories have been developed to examine the response of FGBs. The Classical Beam Theory (CBT), i.e. Euler Bernoulli Beam Theory, is the simplest theory that can be applied to slender FGBs. The first order shear deformation theory (FSDT), i.e. Timoshenko Beam Theory, is used for the case of either short beams or high frequency applications to overcome the limitations of the CBT by accounting for the transverse shear deformation effect. *Bhimaraddi and Chandrashekhara (1991)* derived laminated composite beam's equations of motion using the first-order shear deformation plate theory (FSDPT). *Dadfarinia (1997)* developed a new beam theory for laminated composite beams using the assumption that the lateral stresses and all derivatives with respect to lateral coordinate in the plate equations of motion are ignored.

In this study, which is an extension of the authors' previous works (*Kaya and Ozdemir Ozgumus, 2007; Kaya and Ozdemir Ozgumus, 2010; Ozdemir Ozgumus and Kaya, 2013, Ozdemir, 2016*), free vibration analysis of a rotating functionally graded Timoshenko beam that undergoes flapwise bending vibrations is performed. At the beginning of the study, expressions for both the kinetic and the potential energies are derived in a detailed way by using explanatory tables and figures. In the next step, the governing differential equations of motion are obtained applying the Hamilton's principle. In the solution part, the equations of motion, including the parameters for the rotary inertia, shear deformation, power law index parameter and slenderness ratio are solved using an efficient mathematical technique, called the differential transform method (DTM). Natural frequencies are calculated and effects of the parameters, mentioned above, are investigated. Calculated results are compared with the ones in open literature and consequently, it is observed that there is a good agreement between the results which proves the correctness and the accuracy of the DTM.

## BEAM MODEL

The governing differential equations of motion are derived for the free vibration analysis of a functionally graded rotating Timoshenko beam model with a right-handed Cartesian coordinate system which is represented by Figure 1.



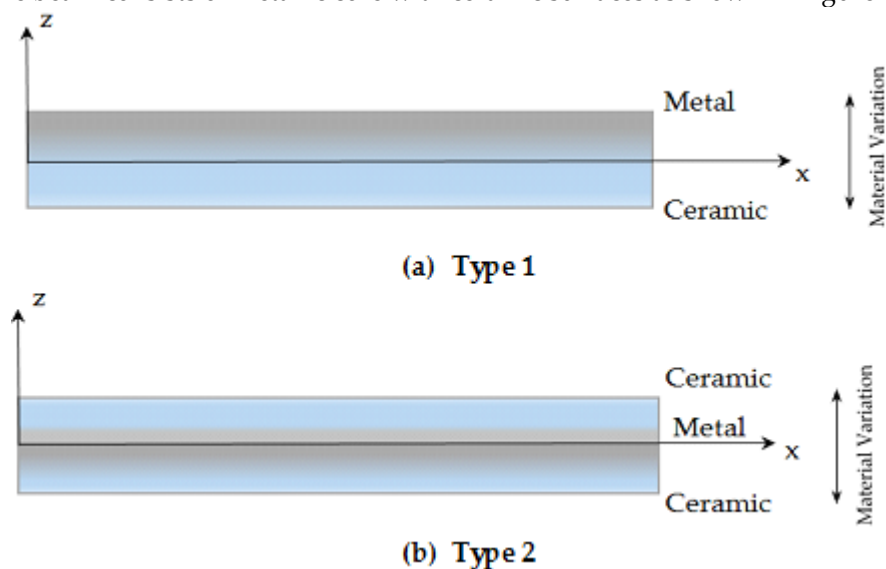
**Figure 1.** Rotating beam model and coordinate system

Here, a functionally graded Timoshenko beam of length  $L$ , which is fixed at point  $O$  to a rigid hub with radius  $R$ , is shown. The beam height is  $h$  and width is  $b$  with cantilever boundary condition at point  $O$ . The  $xyz$  axes represent a global orthogonal coordinate system with its origin at the root of the beam. The beam is assumed to be rotating in the counter-clockwise direction at a constant angular velocity,  $\Omega$ . In the right-handed Cartesian coordinate system, the  $x$ -axis coincides with the neutral axis of the beam in the undeflected position, the  $z$ -axis is parallel to the axis of rotation, but not coincident and the  $y$ -axis lies in the plane of rotation.

## FUNCTIONALLY GRADED BEAM FORMULATION

### Beam Models and Related Formulation

In the present work, flapwise bending vibration analysis of a functionally graded Timoshenko beam that rotates with a constant angular velocity is carried out. The analyses are carried out for two types of FGB models. For the first type, the material properties of the beam vary such that the material at the bottom surface is ceramic and the material at the top surface is metal as shown in Figure 2(a). For the second type, the beam consists of metallic core with ceramic surfaces as shown in Figure 2(b).



**Figure 2.** Functionally graded beam models and coordinate systems

Material properties of the beam, i.e. modulus of elasticity,  $E$ , shear modulus,  $G$ , Poisson's ratio,  $\nu$  and material density,  $\rho$  are assumed to vary continuously in the thickness direction,  $z$ , as a function of the volume fraction and the properties of the constituent materials according to a simple power law.

According to the rule of mixture, the effective material property  $P(z)$  can be expressed as follows

$$P(z) = P_c V_c + P_m V_m \quad (1)$$

where  $P_c$  and  $P_m$  are the properties of the ceramic and metal while  $V_c$  and  $V_m$  are the corresponding volume fractions. The relation between the volume fractions is given by

$$V_m + V_c = 1 \quad (2)$$

### Beam of The 1<sup>st</sup> Type (Figure 1a)

The volume fraction of the top constituent of the beam,  $V_m$ , is assumed to be given by

$$V_m = \left( \frac{z}{h} + \frac{1}{2} \right)^k, \quad (k \geq 0) \quad (3)$$

Here  $k$  is the non-negative power law index parameter that dictates the material variation profile through the beam thickness.

Considering Eqns. (1)-(3), the effective material property of the 1<sup>st</sup> type beam can be rewritten as follows

$$P_1(z) = (P_m - P_c) \left( \frac{z}{h} + \frac{1}{2} \right)^k + P_c \quad (4)$$

It is evident from Eqn.(4) that

$$@ z = h/2, \quad E = E_m, \nu = \nu_m, G = G_m, \rho = \rho_m \quad (5a)$$

$$@ z = -h/2, \quad E = E_c, \nu = \nu_c, G = G_c, \rho = \rho_c. \quad (5b)$$

### Beam of The 2<sup>nd</sup> Type (Figure 1b)

The volume fraction of the top constituent of the beam,  $V_t$ , is assumed to be given by

$$V_c = \left[ \frac{z}{h} \right]^k, \quad (k \geq 0) \quad (6)$$

Considering Eqns. (1), (2) and (6), the effective material property of the 2<sup>nd</sup> type beam can be rewritten as follows

$$P_2(z) = (P_m - P_c) \left[ \frac{z}{h} \right]^k + P_c \quad (7)$$

It is evident from Eqn.(7) that

$$@ z = \pm h/2, \quad E = E_c, \nu = \nu_c, G = G_c, \rho = \rho_c. \quad (8a)$$

$$@ z = 0, \quad E = E_m, \nu = \nu_m, G = G_m, \rho = \rho_m \quad (8b)$$

## DISPLACEMENT FIELD AND STRAIN FIELD

The cross-sectional and the longitudinal views of a Timoshenko beam that undergoes extension and flapwise bending deflections are introduced in Figure 3 (a) and 3 (b), respectively. Here, a reference point is chosen and is represented by  $P_0$  before deformation and by  $P$  after deformation.

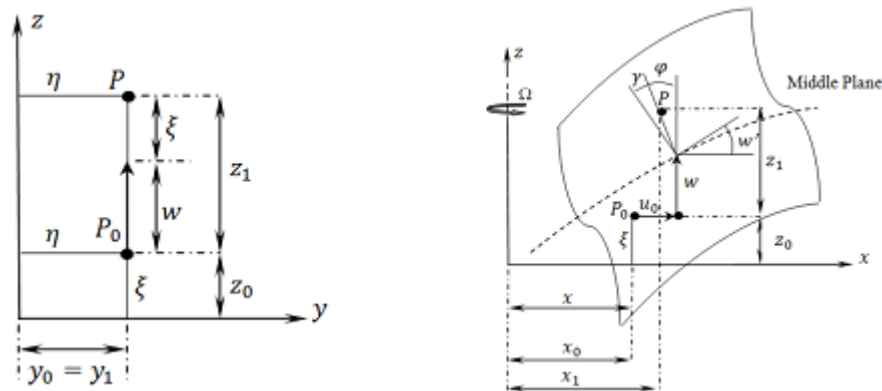


Figure 3. (a) Cross-sectional view (b) Longitudinal view of the rotating Timoshenko beam

Here,  $\eta$  is the offset of the reference point from the  $z$ - axis,  $\xi$  is the offset of the reference point from the middle plane,  $x$  is the offset of the reference point from the  $z$ -axis,  $u_0$  is the elongation,  $w$  is the flapwise bending displacement,  $\varphi$  is the rotation due to bending and  $\gamma$  is the shear angle.

Considering Figure 3 (a) and 3 (b), coordinates of the reference point are obtained as follows

Before deflection (coordinates of  $P_0$ ):

$$x_0 = x \tag{9a}$$

$$y_0 = \eta \tag{9b}$$

$$z_0 = \xi \tag{9c}$$

After deflection (coordinates of  $P$ ):

$$x_1 = x + u_0 + \xi\varphi \tag{10a}$$

$$y_1 = \eta \tag{10b}$$

$$z_1 = w + \xi \tag{10c}$$

The position vectors of the reference point are represented by  $\vec{r}_0$  and  $\vec{r}_1$  before and after deflection, respectively. Therefore,  $d\vec{r}_0$  and  $d\vec{r}_1$  can be written as follows

$$d\vec{r}_0 = dx\vec{i} + d\eta\vec{j} + d\xi\vec{k} \tag{11a}$$

$$d\vec{r}_1 = [(1 + u'_0 + \xi\varphi')]dx\vec{i} + d\eta\vec{j} + (w'dx + d\xi)\vec{k} \tag{11b}$$

where ( )' denotes differentiation with respect to the spanwise coordinate,  $x$  .

The classical strain tensor  $\varepsilon_{ij}$  may be obtained by using the following equilibrium equation given by Eringen (1980)

$$d\vec{r}_1 \cdot d\vec{r}_1 - d\vec{r}_0 \cdot d\vec{r}_0 = 2 \begin{bmatrix} dx & d\eta & d\xi \end{bmatrix} [\varepsilon_{ij}] \begin{bmatrix} dx \\ d\eta \\ d\xi \end{bmatrix} \tag{12}$$

where

$$[\varepsilon_{ij}] = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{x\eta} & \varepsilon_{x\xi} \\ \varepsilon_{\eta x} & \varepsilon_{\eta\eta} & \varepsilon_{\eta\xi} \\ \varepsilon_{\xi x} & \varepsilon_{\xi\eta} & \varepsilon_{\xi\xi} \end{bmatrix} \tag{13}$$

Substituting Eqn. (11a) and Eqn. (11b) into Eqn.(12), the components of the strain tensor  $\varepsilon_{ij}$  are obtained as follows

$$\varepsilon_{xx} = u'_0 + \frac{(u'_0)^2}{2} + \frac{(w')^2}{2} + u'_0\varphi'\xi + \varphi'\xi + \frac{(\varphi')^2}{2}\xi^2 \tag{14a}$$

$$\gamma_{x\eta} = 0 \tag{14b}$$

$$\gamma_{x\xi} = (w' + \varphi) + \varphi\varphi'\xi - u'_0\varphi \tag{14c}$$

where  $\varepsilon_{xx}$ ,  $\gamma_{x\eta}$  and  $\gamma_{x\xi}$  are the axial strain and the shear strains, respectively.

In this work; only  $\varepsilon_{xx}$ ,  $\gamma_{x\eta}$  and  $\gamma_{x\xi}$  are used in the calculations because as noted by Hodges and Dowell (1974) for long slender beams, the axial strain  $\varepsilon_{xx}$  is dominant over the transverse normal strains,  $\varepsilon_{\eta\eta}$  and  $\varepsilon_{\xi\xi}$ . Moreover, the shear strain  $\gamma_{\eta\xi}$  is two order smaller than the other shear strains,  $\gamma_{x\xi}$  and  $\gamma_{x\eta}$ . Therefore,  $\varepsilon_{\eta\eta}$ ,  $\varepsilon_{\xi\xi}$  and  $\gamma_{\eta\xi}$  are neglected.

In order to obtain simpler expressions for the strain components given by Eqns. (10a)-(10c), higher order terms can be neglected so an order of magnitude analysis is performed by using the ordering scheme, taken from *Hodges and Dowell (1974)* and introduced in Table 1.

**Table 1.** Ordering scheme for the Timoshenko beam model

Term	Order
$w'$	$O(\varepsilon)$
$\varphi$	$O(\varepsilon)$
$w' + \varphi$	$O(\varepsilon^2)$
$u'_0$	$O(\varepsilon^2)$
$\varphi'$	$(\varepsilon^2)$

*Hodges and Dowell (1974)* used the formulation for an Euler-Bernoulli beam so in this study, their formulation is modified for a Timoshenko beam and a new expression,  $w' + \varphi = O(\varepsilon^2)$  is added to their ordering scheme as a contribution to literature.

Considering Table 1, Eqns. (14a)-(14c) are simplified as follows

$$\varepsilon_{xx} = u'_0 + \frac{(u'_0)^2}{2} + \frac{(w')^2}{2} + \varphi' \xi \tag{15a}$$

$$\gamma_{x\eta} = 0 \tag{15b}$$

$$\gamma_{x\xi} = w' + \varphi \tag{15c}$$

**Potential Energy**

The potential energy expression is given by

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L \int_A (\sigma_{xx} \varepsilon_{xx} + \tau_{x\xi} \gamma_{x\xi}) dA dx = \frac{b}{2} \int_0^L \int_{-h/2}^{h/2} (\sigma_{xx} \varepsilon_{xx} + \tau_{x\xi} \gamma_{x\xi}) d\xi dx \tag{16}$$

The axial force, N, the bending moment, M and the shear force, Q that act on a laminate at the midplane are expressed as follows (*Kollar and Springer, 2003*)

$$N = b \int_{-h/2}^{h/2} \sigma dz \tag{17a}$$

$$M = b \int_{-h/2}^{h/2} z \sigma dz \tag{17b}$$

$$Q = b \int_{-h/2}^{h/2} \tau dz \tag{17c}$$

Substituting Eqns. (15a)-(15c) into Eqn. (16) and considering Eqns. (17a)-(17c), the following expression is obtained.

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L \left\{ N_x \left[ u'_0 + \frac{(w')^2}{2} \right] + M_x \varphi' + Q_{xz} (w' + \varphi) \right\} dx \tag{18}$$

where

$$N_x = \bar{A}_{11} u'_0 + \bar{B}_{11} \varphi' \tag{19a}$$

$$M_x = \bar{B}_{11} u'_0 + \bar{D}_{11} \varphi' \tag{19b}$$

$$Q = \bar{A}_{55} \gamma_{x\xi} \tag{19c}$$

Here the stiffness coefficients are obtained as follows

$$[\bar{A}_{11} \quad \bar{B}_{11} \quad \bar{D}_{11}] = \int_A E(z) [1 \quad z \quad z^2] dA \tag{20a}$$

$$\bar{A}_{55} = K \int_A G(z) dA \tag{20b}$$

where K is defined as the shear correction factor that takes the value of  $K = 5/6$  for rectangular cross sections.

Substituting Eqns. (19a)-(19c) into Eqn. (18) gives

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L \{ \bar{A}_{11} (u'_0)^2 + 2\bar{B}_{11} u'_0 \varphi' + \bar{D}_{11} (\varphi')^2 + \bar{A}_{55} (w' + \varphi) \} dx \tag{21}$$

The uniform strain,  $\varepsilon_0$ , and the associated axial displacement,  $u_0$ , due to the centrifugal force,  $T(x)$ , are related to each other as follows:

$$u'_0 = \varepsilon_0 = \frac{T(x)}{A_{11}} \quad (22)$$

where the centrifugal force,  $T(x)$ , is expressed by

$$T(x) = \int_x^L \rho A (R+x) \Omega^2 dx \quad (23)$$

Here  $\rho$  is the material density and  $A$  is the cross-sectional area.

Referring to the Eqns. (17)-(18), variation of Eqn. (17) is obtained as follows.

$$\delta U = \int_0^L \{(\bar{A}_{11}u'_0 + \bar{B}_{11}\varphi')\delta u'_0 + (\bar{B}_{11}u'_0 + \bar{D}_{11}\varphi')\delta\varphi' + \bar{A}_{55}(w' + \varphi)(\delta w' + \delta\varphi)\} dx \quad (24)$$

### Kinetic Energy

The position vector of point  $P$  shown in Figure 3 is given by

$$\vec{r} = (x + u_0 + \xi\varphi)\vec{i} + w\vec{k} \quad (25a)$$

The velocity vector of this point due to rotation of the beam is obtained as follows

$$\vec{V} = \frac{\partial \vec{r}}{\partial t} + \Omega \vec{k} \times \vec{r} = (\dot{u}_0 + \xi\dot{\varphi})\vec{i} + (R+x+u_0+\xi\varphi)\Omega\vec{j} + \dot{w}\vec{k} \quad (25b)$$

Hence, the velocity components are

$$V_x = \dot{u}_0 + \xi\dot{\varphi} \quad (26a)$$

$$V_y = (R+x+u_0+\xi\varphi)\Omega \quad (27b)$$

$$V_z = \dot{w} \quad (28c)$$

The kinetic energy expression is given by

$$K = \frac{1}{2} \int_0^L \int_A \rho (V_x^2 + V_y^2 + V_z^2) dA dx = \frac{b}{2} \int_0^L \int_{-h/2}^{h/2} \rho (V_x^2 + V_y^2 + V_z^2) d\xi dx \quad (29)$$

Substituting the velocity components into Eq. (29) and taking the variation of the kinetic energy give

$$\delta K = \int_0^L \{I_1[\dot{u}_0\delta\dot{u}_0 + \dot{w}\delta\dot{w} + (R+x+u_0)\Omega^2\delta u_0] + I_2[\dot{u}_0\delta\dot{\varphi} + \dot{\varphi}\delta\dot{u}_0 + (R+x+u_0)\delta\varphi + \varphi\Omega^2\delta u_0] + I_3(\dot{\varphi}\delta\dot{\varphi} + \varphi\Omega^2\delta\varphi)\} dx \quad (30)$$

where  $I_1$ ,  $I_2$  and  $I_3$  are the inertial characteristics of the beam given by

$$[I_1 \ I_2 \ I_3] = \int_A \rho(z) [1 \ z \ z^2] dA \quad (31)$$

### Equations of Motion and The Boundary Conditions

The Hamilton's Principle is expressed as follows

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta(U - K) dt = 0 \quad (32)$$

Substituting Eqn.(24) and Eqn.(30) into Eqn. (32) gives the equations of motion and the boundary conditions as follows

#### Equations of Motion:

$$\bar{A}_{11}u''_0 + \bar{B}_{11}\varphi'' + I_1\Omega^2 u_0 + I_2\Omega^2 \varphi = I_1\ddot{u}_0 + I_2\ddot{\varphi} \quad (33a)$$

$$(w'T)' + (\bar{A}_{55} - \bar{E}_{11})w'' + \bar{A}_{55}\varphi' = I_1\ddot{w} \quad (33b)$$

$$\bar{D}_{11}\varphi'' + \bar{B}_{11}u''_0 + I_2\Omega^2 u_0 + I_3\Omega^2 \varphi - \bar{A}_{55}(w' + \varphi) = I_2\ddot{u}_0 + I_3\ddot{\varphi} \quad (33c)$$

where the expression of the centrifugal force,  $T$ , given by Eq. (23) can be rewritten as follows

$$T(x) = \int_x^L I_1 (R+x) \Omega^2 dx \quad (34)$$

#### Clamped-Free Boundary Conditions:

$$@ x = 0 \quad u_0(0, t) = w(0, t) = \varphi(0, t) = 0 \quad (35a)$$

$$@ x = L \quad \bar{A}_{11}u'_0(L, t) + \bar{B}_{11}\varphi'(L, t) = 0 \quad (35b)$$

$$Tw'(L, t) + \bar{A}_{55}[w'(L, t) + \varphi(L, t)] = 0 \quad (35c)$$

$$\bar{D}_{11}\varphi(L, t) + \bar{B}_{11}u'_0(L, t) - \bar{A}_{55}(w' + \varphi) = 0 \quad (35d)$$

The boundary condition expressed by Eq. (35c) can be written in a simpler form by noting that the centrifugal force is zero at the free end of the beam,  $T(L)=0$ .

$$\bar{A}_{55}[w'(L, t) + \varphi(L, t)] = 0 \tag{36}$$

In order to investigate the free vibration of the beam model considered in this study, a sinusoidal variation of  $u_0, w$  and  $\varphi$  with a circular natural frequency,  $\omega$ , is assumed and the functions are approximated as

$$u_0(x, t) = \bar{u}(x)e^{i\omega t} \tag{37a}$$

$$w(x, t) = \bar{w}(x)e^{i\omega t} \tag{37b}$$

$$\varphi(x, t) = \bar{\varphi}(x)e^{i\omega t} \tag{37c}$$

Substituting Eqns. (37a)-(37c) into the equations of motion, i.e. Eqns.(33a)-(33c), and into the boundary conditions, i.e. Eqns.(35a)-(35d), the following dimensionless equations are obtained as follows

**Equations of motion:**

$$\gamma^2 \ddot{u}^{**} + \alpha^2 \ddot{\varphi}^{**} + (\beta^2 + \lambda^2) (\ddot{u} + \mu^2 \ddot{\varphi}) = 0 \tag{38a}$$

$$\left\{ \beta^2 \left[ \sigma(1 - \bar{x}) + \frac{1}{2} (1 - \bar{x}^2) \right] + \frac{1}{\tau^2} - e_0 \right\} \ddot{w}^{**} - \beta^2 (\sigma + \bar{x}) \ddot{w}^* + \lambda^2 \ddot{w} + \frac{1}{\tau^2} \ddot{\varphi}^* = 0 \tag{38b}$$

$$\alpha^2 \tau^2 \ddot{u}^{**} + \tau^2 \ddot{\varphi}^{**} + \mu^2 \tau^2 (\beta^2 + \lambda^2) \ddot{u} + [r^2 \tau^2 (\beta^2 + \lambda^2) - 1] \ddot{\varphi} - \ddot{w}^* = 0 \tag{38c}$$

**Clamped-Free Boundary Conditions:**

$$\text{@ } \bar{x} = 0 \quad \ddot{u}(0, t) = \ddot{w}(0, t) = \ddot{\varphi}(0, t) = 0 \tag{39a}$$

$$\text{@ } \bar{x} = 1 \quad \gamma^2 \ddot{u}^*(L, t) + \alpha^2 \ddot{\varphi}^*(L, t) = 0 \tag{39b}$$

$$\left( \frac{1}{\tau^2} - e_0 \right) \ddot{w}^*(L, t) + \frac{1}{\tau^2} \ddot{\varphi}^*(L, t) = 0 \tag{39c}$$

$$\alpha^2 \ddot{u}^*(L, t) + \ddot{\varphi}^*(L, t) = 0 \tag{39d}$$

Here, the dimensionless parameters given below in Table 2, are used to be able to simplify the equations of motion, boundary conditions and to make comparisons with open literature.

**Table 2.** Dimensionless parameters

$\bar{x} = \frac{x}{L}$	$\bar{w} = \frac{w}{L}$	$\bar{u} = \frac{u}{L}$	$\bar{\varphi} = \bar{\varphi}$
$\sigma = \frac{R}{L}$	$\gamma^2 = \frac{\bar{A}_{11} L^2}{\bar{D}_{11}}$	$\alpha^2 = \frac{\bar{B}_{11} L}{\bar{D}_{11}}$	$\beta^2 = \frac{I_1 L^4 \Omega^2}{\bar{D}_{11}}$
$r^2 = \frac{I_3}{I_1 L^2}$	$\tau^2 = \frac{\bar{D}_{11}}{\bar{A}_{55} L^2}$	$\lambda^2 = \frac{I_1 L^4 \omega^2}{\bar{D}_{11}}$	$\mu^2 = \frac{I_2}{I_1 L}$

where  $\beta$  is the rotational speed parameter,  $\lambda$  is the frequency parameter,  $r$  is the inverse of the slenderness ratio and  $\sigma$  is the hub radius parameter.

**DIFFERENTIAL TRANSFORM METHOD**

The Differential Transform Method (DTM) is a transformation technique based on the Taylor series expansion and is a useful tool to obtain analytical solutions of the differential equations. In this method, certain transformation rules are applied and the governing differential equations and the boundary conditions of the system are transformed into a set of algebraic equations in terms of the differential transforms of the original functions and the solution of these algebraic equations gives the desired solution of the problem.

Consider a function  $f(x)$  which is analytic in a domain D and let  $x = x_0$  represent any point in D. The function  $f(x)$  is then represented by a power series whose center is located at  $x_0$ . The differential transform of the function  $f(x)$  is given by

$$F[k] = \frac{1}{k!} \left( \frac{d^k f(x)}{dx^k} \right)_{x=x_0} \quad (40)$$

where  $f(x)$  is the original function and  $F[k]$  is the transformed function. The inverse transformation is defined as

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(x-x_0)^k}{k!} F[k] \quad (41)$$

Combining Eqn. (40) and Eqn. (41), we get

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(x-x_0)^k}{k!} \left( \frac{d^k f(x)}{dx^k} \right)_{x=x_0} \quad (42)$$

Considering Eqn. (42), it is noticed that the concept of differential transform is derived from Taylor series expansion. However, the method does not evaluate the derivatives symbolically.

In actual applications, the function  $f(x)$  is expressed by a finite series and Eqn. (42) can be written as follows

$$f(x) = \sum_{k=0}^m \frac{(x-x_0)^k}{k!} \left( \frac{d^k f(x)}{dx^k} \right)_{x=x_0} \quad (43)$$

which means that the rest of the series

$$f(x) = \sum_{k=m+1}^{\infty} \frac{(x-x_0)^k}{k!} \left( \frac{d^k f(x)}{dx^k} \right)_{x=x_0} \quad (44)$$

is negligibly small. Here, the value of  $m$  depends on the convergence of the natural frequencies.

Theorems that are frequently used in the transformation procedure are introduced in Table 3 and theorems that are used for boundary conditions are introduced in Table 4.

**Table 3.** DTM theorems used for equations of motion

Original Function	Transformed Function
$f(x) = g(x) \pm h(x)$	$F[k] = G[k] \pm H[k]$
$f(x) = \lambda g(x)$	$F[k] = \lambda G[k]$
$f(x) = g(x)h(x)$	$F[k] = \sum_{l=0}^k G[k-l]H[l]$
$f(x) = \frac{d^n g(x)}{dx^n}$	$F[k] = \frac{(k+n)!}{k!} G[k+n]$
$f(x) = x^n$	$F[k] = \delta(k-n) = \begin{cases} 0 & \text{if } k \neq n \\ 1 & \text{if } k = n \end{cases}$



**Table 4.** DTM theorems used for boundary conditions

$x = 0$		$x = 1$	
Original B.C.	Transformed B.C.	Original B.C.	Transformed B.C.
$\frac{df(0)}{dx} = 0$	$F(0) = 0$	$f(1) = 0$	$\sum_{k=0}^{\infty} F(k) = 0$
$\frac{df}{dx}(0) = 0$	$F(1) = 0$	$\frac{df}{dx}(1) = 0$	$\sum_{k=0}^{\infty} kF(k) = 0$
$\frac{d^2 f}{dx^2}(0) = 0$	$F(2) = 0$	$\frac{d^2 f}{dx^2}(1) = 0$	$\sum_{k=0}^{\infty} k(k-1)F(k) = 0$
$\frac{d^3 f}{dx^3}(0) = 0$	$F(3) = 0$	$\frac{d^3 f}{dx^3}(1) = 0$	$\sum_{k=0}^{\infty} (k-1)(k-2)kF(k) = 0$

After applying the differential transform method to Eqns. (38a)-(39d), the transformed equations of motion and boundary conditions are obtained as follows

*Equations of motion:*

$$\gamma^2(k+1)(k+2)U[k+2] + \alpha^2(k+1)(k+2)\varphi[k+2] + (\beta^2 + \lambda^2)(U[k] + \mu^2\varphi[k]) = 0 \tag{45a}$$

$$\left[ \beta^2 \left( \sigma + \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{\tau^2} \right] (k+1)(k+2)W[k+2] - \beta^2 \sigma (k+1)^2 W[k+1] + \left[ \lambda^2 - \frac{1}{2} \beta^2 k(k+1) \right] W[k] + \frac{1}{\tau^2} (k+1) \varphi[k+1] = 0 \tag{45b}$$

$$\alpha^2(k+1)(k+2)U[k+2] + (k+1)(k+2)\varphi[k+2] + \mu^2(\beta^2 + \lambda^2)U[k] + \left[ r^2(\beta^2 + \lambda^2) - \frac{1}{\tau^2} \right] \varphi[k] - \frac{1}{\tau^2} (k+1)W[k+1] = 0 \tag{45c}$$

*Clamped-Free Boundary Conditions:*

$$\text{@ } \bar{x} = 0 \quad U[k] = W[k] = \varphi[k] = 0 \tag{46a}$$

$$\text{@ } \bar{x} = 1 \quad \gamma^2 \sum_{k=0}^{\infty} kU[k] + \alpha^2 \sum_{k=0}^{\infty} k\varphi[k] = 0 \tag{46b}$$

$$\left( \frac{1}{\tau^2} - e_0 \right) \sum_{k=0}^{\infty} kW[k] + \frac{1}{\tau^2} \sum_{k=0}^{\infty} \varphi[k] = 0 \tag{47c}$$

$$\alpha^2 \sum_{k=0}^{\infty} kU[k] + \sum_{k=0}^{\infty} k\varphi[k] - f_0 = 0 \tag{48d}$$

## RESULTS AND DISCUSSIONS

In numerical analysis, effects of several parameters, i.e. material distribution property, angular velocity,  $\Omega$ , , slenderness ratio,  $L/h$  and power law index parameter,  $k$ , on the natural frequencies of a FG Timoshenko beam are investigated and the results are presented in related tables. In order to validate the calculated results, comparisons with the studies in open literature are made. It is believed that the tabulated results can be used as references by the other researchers to validate their results.

### Material Properties

As in the work of Şimsek (2010), Aluminum (Al) is used as the metal and Alumina ( $Al_2O_3$ ) is used as the ceramic material. The material properties of the FG beam are introduced in Table 5.

**Table 5.** Material properties of the FG beam

Property	Aluminum (Al)	Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Elasticity Modulus, E	70 GPa	380 GPa
Material Density, ρ	2702 kg/m <sup>3</sup>	3960 kg/m <sup>3</sup>
Poisson's Ratio, ν	0.3	0.3

Variation of the fundamental natural frequency of a nonrotating C-F Functionally Graded Timoshenko Beam according to the power law exponent for L/h=20 is introduced in Table 6. The dimensionless frequency values are given by the formula,  $\lambda = \frac{\omega L^2}{h} \sqrt{\frac{\rho_m}{E_m}}$ .

The calculated results of a nonrotating FG Timoshenko beam are compared with the ones given by Şimsek (2010), a very good agreement between the results is observed

**Table 6.** Dimensionless fundamental frequencies of a nonrotating C-F FG timoshenko beam

Frequency $\lambda = \frac{\omega L^2}{h} \sqrt{\frac{\rho_m}{E_m}}$	Power Law Exponent (k)							
	0	0.2	0.5	1	2	5	10	Full Metal
<b>Fundamental</b>	1.94955	1.81407	1.66026	1.50103	1.36966	1.30373	1.26493	1.01297
<b>Şimsek (2010)</b>	<b>1.94957</b>	<b>1.81456</b>	<b>1.66044</b>	<b>1.50104</b>	<b>1.36968</b>	<b>1.30375</b>	<b>1.26495</b>	<b>1.01297</b>

In Table 7, variation of the dimensionless natural frequencies of a C-F Functionally Graded Timoshenko Beam with respect to the power law exponent, k, the slenderness ratio, L/h and the rotational velocity parameter, β is introduced for the beam model where the material properties vary such that the material at the bottom surface is ceramic and the material at the the top surface is metal as shown in Figure 2(a).

**Table 7.** Variation of the dimensionless natural frequencies of a C-F functionally graded rotating timoshenko beam with respect to the power law exponent, k, the slenderness ratio, L/h and the rotational velocity parameter, β where  $P_1(z) = (P_m - P_c) \left(\frac{z}{h} + \frac{1}{2}\right)^k + P_c$

L/h	K=0		K=1		K=2		K=5	
	β=0	β=5	β=0	β=5	β=0	β=5	β=0	β=5
<b>3</b>	1.80329	3.34825	1.39885	2.7451	1.27348	2.58828	1.19956	2.41723
	8.21514	8.63351	6.44425	7.11864	5.77913	6.34967	5.22620	5.47542
	9.06941	10.3185	7.7081	8.47941	7.05971	7.91179	6.19459	7.28635
	17.9802	20.8083	14.3438	16.6267	12.9094	15.0887	11.6647	13.7449
<b>4</b>	1.86385	3.43576	1.44141	2.8159	1.31344	2.65917	1.24242	2.4888
	9.42868	11.4397	7.39468	9.02089	6.68493	8.18294	6.15895	7.32402
	12.0925	11.7692	10.1889	10.0519	9.27327	9.25019	8.07187	8.28298
	21.5877	24.1181	17.1413	19.2664	15.4804	17.5649	14.1093	16.1152
<b>5</b>	1.89441	3.48336	1.46276	2.85363	1.33353	2.69678	1.26419	2.52732
	10.2025	12.1629	7.97167	9.67831	7.23018	8.90268	6.72424	8.2538
	15.1157	14.8582	12.7061	12.5178	11.5406	11.3768	10.0258	9.89435
	24.2839	26.62	19.1875	21.1936	17.3683	19.3554	15.9509	17.851

In Table 8, variation of the dimensionless natural frequencies of a C-F Functionally Graded Timoshenko Beam with respect to the power law exponent, k, the slenderness ratio, L/h and the rotational velocity parameter, β is introduced for the beam model that consists of metallic core with ceramic surfaces as shown in Figure 2(b) where  $P_2(z) = (P_m - P_c) \left[\frac{z}{h}\right]^k + P_c$ .

**Table 8.** Variation of the dimensionless natural frequencies of a C-F Functionally Graded Rotating Timoshenko Beam with respect to the power law exponent,  $k$ , the slenderness ratio,  $L/h$  and the rotational velocity parameter,  $\beta$  where  $\sigma = 0$ .

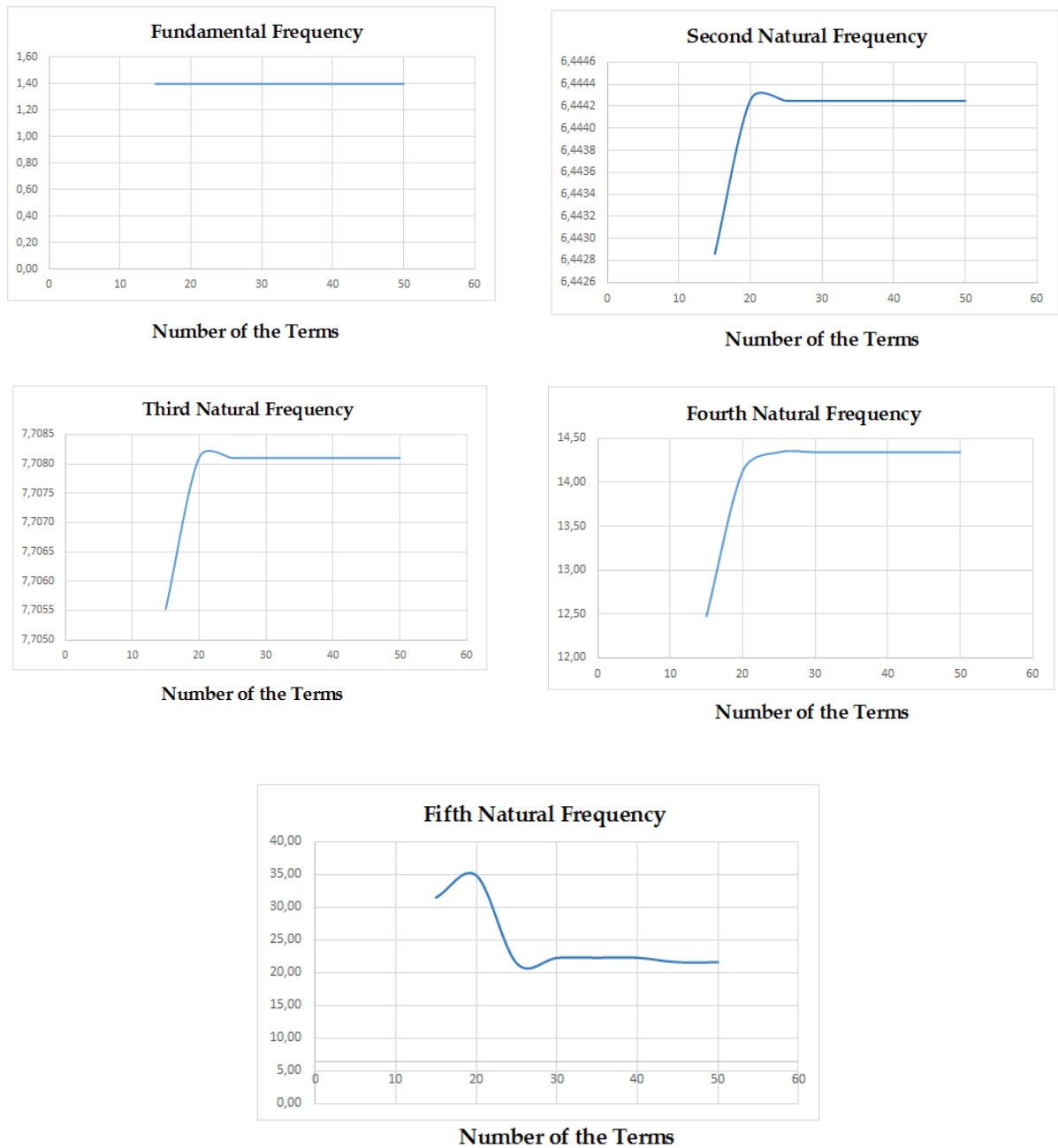
L/h	K=0		K=1		K=2		K=5	
	$\beta=0$	$\beta=5$	$\beta=0$	$\beta=5$	$\beta=0$	$\beta=5$	$\beta=0$	$\beta=5$
3	1.80329	3.34825	1.42441	2.66318	1.17129	2.18738	0.958251	1.78056
	8.21514	8.63351	6.23496	6.07854	5.16473	5.09202	4.34608	4.52523
	9.06941	10.3185	6.4741	8.00631	5.40984	6.60798	4.76066	5.47231
	17.9802	20.8083	13.4681	15.9219	11.181	13.1726	9.49716	11.0175
4	1.86385	3.43576	1.48112	2.73909	1.21655	2.24861	0.991071	1.82755
	9.42868	11.4397	7.25552	8.33957	5.99512	6.97792	4.99596	6.07073
	12.0925	11.7692	8.63213	8.92615	7.21313	7.35805	6.34754	6.17294
	21.5877	24.1181	16.3358	18.5139	13.537	15.3046	11.4162	12.7746
5	1.89441	3.48336	1.51012	2.78166	1.23963	2.28276	1.00766	1.85319
	10.2025	12.1629	7.93067	9.5414	6.54094	7.85694	5.41208	6.4584
	15.1157	14.8582	10.7902	10.5576	9.01641	8.82937	7.93443	7.79545
	24.2839	26.62	18.5478	20.5329	15.3449	16.9584	12.856	14.1078

In this study, formulation of a rotating functionally graded Timoshenko beam that undergoes flapwise bending vibration is derived by introducing several explanatory figures and tables. Applying the Hamilton's Principle to the obtained energy expressions, governing differential equations of motion and the boundary conditions are derived. In the solution part, the equations of motion, including the parameters for the rotary inertia, shear deformation, power law index parameter, material distribution, slenderness ratio and rotational speed are solved using an efficient mathematical technique, called the Differential Transform Method (DTM). Natural frequencies are calculated and effects of the parameters, mentioned above, are investigated.

Considering the calculated results, the following conclusions are reached:

- As the slenderness ratio  $L/h$  increases, the natural frequencies increase;
- As the rotational speed parameter increases, the natural frequencies increase due to the stiffening effect of the centrifugal force.
- The natural frequencies decrease as the value of the power-law exponent,  $k$ , increases for both types of beam models.
- When Table 7 and Table 8 are compared, it is noticed that natural frequencies of the first beam model, i.e. the material properties vary such that the material at the bottom surface is ceramic and the material at the top surface is metal, are higher than the natural frequencies of the second beam model, i.e. consists of metallic core with ceramic surfaces.

In Figure 4, convergence of the first five natural frequencies with respect to the number of terms,  $N$ , used in DTM application is introduced where  $L/h=3$  and  $k=1$ . To evaluate up to the fifth natural frequency to fourth-digit precision, it was necessary to take 45 terms. During the calculations, it is noticed that when the rotational speed parameter is increased, the number of the terms has to be increased to achieve the same accuracy. Additionally, here it is seen that higher modes appear when more terms are taken into account in DTM application. Thus, depending on the order of the required mode, one must try a few values for the term number at the beginning of the calculations in order to find the adequate number of terms. For instance, only  $N=100$  is enough for the results given in Table 7 and Table 8.



**Figure 4.** Convergence of the first five natural frequencies with respect to the number of terms,  $N$

## REFERENCES

- Akash, B. A., Mamlook, R., Mohsen, S. M., 1999, "Multi-criteria selection of electric power plants using analytical hierarchy process", *Electric Power Systems Research*, Cilt 52, Sayı 1, ss. 29-35.
- Alshorbagy AE, Eltahir MA, Mahmoud FF, 2011, Free vibration characteristics of a functionally graded beam by finite element method, *Applied Mathematical Modelling*, 35, 412–425.
- Bhimaraddi A, Chandrashekhara K., 1991, Some observation on the modeling of laminated composite beams with general lay-ups, *Composite Structures*, 19, 371–380
- Chakraborty A, Gopalakrishnan S, Reddy JN., 2003, A new beam finite element for the analysis of functionally graded materials, *International Journal of Mechanical Sciences*, 45, 519–539.
- Dadfarnia M., 1997, Nonlinear forced vibration of laminated beam with arbitrary lamination, M.Sc. Thesis, Sharif University of Technology.

- Deng HD and Wei C, 2016, Dynamic characteristics analysis of bi-directional functionally graded Timoshenko beams, *Composite Structures*, in press.
- Eringen, AC., 1980, *Mechanics of Continua*, Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, New York.
- Giunta G, Crisafulli D, Belouettar S, Carrera E., 2011, Hierarchical theories for the free vibration analysis of functionally graded beams, *Composite Structures*, 94, 68–74.
- Hodges, D. H., Dowell, E. H., 1974, Nonlinear equations of motion for the elastic bending and torsion of twisted nonuniform rotor blades, *NASA Technical Report*, NASA TN D-7818.
- Huang Y, Li XF., 2010, A new approach for free vibration of axially functionally graded beams with non-uniform cross-section, *Journal of Sound and Vibration*, 329, 2291–2303.
- Kapurja S, Bhattacharyya M, Kumar AN., 2008, Bending and free vibration response of layered functionally graded beams: a theoretical model and its experimental validation, *Composite Structures*, 82, 390–402.
- Kaya, M.O., Ozdemir Ozgumus, O., 2007, Flexural–torsional-coupled vibration analysis of axially loaded closed-section composite Timoshenko beam by using DTM, *Journal of Sound and Vibration*, 306, 495–506.
- Kaya, M.O., Ozdemir Ozgumus, O., 2010, Energy expressions and free vibration analysis of a rotating uniform timoshenko beam featuring bending–torsion coupling, *Journal of Vibration and Control*, 16(6), 915–934.
- Kollar, LR., Springer, GS., 2003, *Mechanics of Composite Structures*. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Lai SK, Harrington J, Xiang Y, Chow KW., 2012, Accurate analytical perturbation approach for large amplitude vibration of functionally graded beams, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 47, 473–480.
- Li XF., 2008, A unified approach for analyzing static and dynamic behaviors of functionally graded Timoshenko and Euler–Bernoulli Beams, *Journal of Sound and Vibration*, 318, 1210–1229.
- Li XF, Kang YA, Wu JX, 2013, Exact frequency equation of free vibration of exponentially functionally graded beams, *Applied Acoustics*, 74 (3), 413–420.
- Loja MAR, Barbosa JI, Mota Soares CM., 2012, A study on the modelling of sandwich functionally graded particulate composite, *Composite Structures*, 94, 2209–2217.
- Loy C.T., Lam K.Y., Reddy J.N., 1999, Vibration of functionally graded cylindrical shells, *International Journal of Mechanical Science*, 41, 309–324.
- Lu CF, Chen WQ., 2005, Free vibration of orthotropic functionally graded beams with various end conditions, *Structural Engineering and Mechanics*, 20, 465–476.
- Ozdemir O., 2016, Application of The Differential Transform Method to The Free Vibration Analysis of Functionally Graded Timoshenko Beams, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics* 54, 4, 1205–1217.
- Ozdemir Ozgumus, O., Kaya, M.O., 2013, Energy expressions and free vibration analysis of a rotating Timoshenko beam featuring bending–bending-torsion coupling, *Archive of Applied Mechanics*, 83, 97–108.
- Sina S.A., Navazi H.M., Haddadpour H., 2009, An analytical method for free vibration analysis of functionally graded beams, *Materials and Design*, 30, 741–747.
- Şimsek M., 2010, Fundamental frequency analysis of functionally graded beams by using different higher-order beam theories, *Nuclear Engineering and Design*, 240, 697–705.
- Tang AY, Wu JX, Li XF and Lee KY, 2014, Exact frequency equations of free vibration of exponentially non-uniform functionally graded Timoshenko beams, *International Journal of Mechanical Sciences*, 89, 1–11.
- Thai HT, Vo TP., 2012, Bending and free vibration of functionally graded beams using various higher-order shear deformation beam theories, *International Journal of Mechanical Sciences*, 62, 57–66.

- Wang Z., Wang X., Xu G., Cheng S. and Zeng T., 2016, Free vibration of two directional functionally graded beams, *Composite Structures*, 135, 191-198.
- Wattanasakulpong N, Prusty BG, Kelly DW, Hoffman M., 2012, Free vibration analysis of layered functionally graded beams with experimental validation, *Materials & Design*, 36, 182-190.
- Zhong Z, Yu T., 2007, Analytical solution of a cantilever functionally graded beam, *Composites Science and Technology*, 67, 481-488.

## KONYA/SELÇUKLU İLÇESİ KARBON AYAK İZİNİN BELİRLENMESİ

<sup>1,\*</sup>Mehmet Emin ARGUN, <sup>2</sup>Refik ERGÜÇ, <sup>3</sup>Yunus SARI

<sup>1,2,3</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Bölümü, KONYA

<sup>1</sup>argun@selcuk.edu.tr, <sup>2</sup>refikerguc@gmail.com, <sup>3</sup>yunussari5634@gmail.com

(Geliş/Received: 08.02.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 21.11.2018)

**ÖZ:** Bu çalışmada, bir ürün, hizmet veya etkinlik için karbon ayak izinin göstergesi olarak atmosfere verilen karbondioksit gazının Konya/Selçuklu ilçesi için değerlendirilmesi yapılmıştır. Emisyon hesaplamalarında, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından önerilen ve Tier yaklaşımlarıyla belirlenmiş olan metodoloji kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda Selçuklu ilçesinin 2015 yılı karbon ayak izi; 0,94 milyon ton CO<sub>2</sub> olarak bulunmuştur. Sanayi kaynaklı emisyonlar hesaplama dahil edilmemiştir. Selçuklu ilçesinin karbon ayak izini oluşturan emisyonlar içerisinde, %56'lık oranla barınmadan kaynaklı emisyonlar başı çekmektedir. Ardından en büyük katkısı %41 oranla ulaşım amaçlı enerji kullanımı vermektedir. En düşük emisyon kaynağı %3'lük oranla katı atıklardır. İlçede kişi başına 1,55 ton CO<sub>2</sub>, birim alan (km<sup>2</sup>) başına ise 457 ton CO<sub>2</sub> emisyonu düşmektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde ilçenin karbon ayak izinin dünya ve Türkiye ortalamasına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, ilçede gerçekleştirilen yoğun ağaçlandırma çalışmalarının yaklaşık olarak 612360 ton CO<sub>2</sub>'in tutulmasını sağladığı ve karbon ayak izinin düşmesine önemli katkı sağladığı ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sera Gazı, Karbondioksit, Karbon Ayak İzi, Emisyon, Ulaşım

### Carbon Footprint Investigation of Konya/Selçuklu District

**ABSTRACT:** In this study, the carbon dioxide gas which is known as an indicator of carbon footprint usually associated with a product, service or activity was evaluated. Greenhouse gas emissions are calculated by using the methodologies explained as Tier approaches which are recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Carbon footprint of the Selçuklu district was calculated as 0.94 million ton of CO<sub>2</sub> in 2015. Industrial contributions were not included in this study. The emissions from domestic use was found as the main factor for increasing footprint with 56%. Then the second contribution is the use of energy for transportation sector with 41%. The lowest emission source is solid wastes with 3%. Key performance indicators of the district were 1.55 tCO<sub>2</sub>/capita and 457 tCO<sub>2</sub>/km<sup>2</sup>. It was concluded that, the Carbon Footprint of the province is lower than the world and Turkey's average. In addition, it has been found that intensive afforestation work carried out in the district has a significant contribution to the decrease of the carbon footprint by absorbing approximately 612360 tons of CO<sub>2</sub>.

**Key Words:** Greenhouse Gas, Carbon Dioxide, Carbon Footprint, Emission, Transportation

### GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayi devrimi sonrasında artan fosil yakıt kullanımı sebebiyle insan faaliyetlerinden kaynaklı karbondioksit salınımları, okyanusların ve orman alanlarının soğurabileceğinden çok daha hızlı bir

şekilde artmaktadır. Özellikle fosil yakıtların tüketilmesi, arazi kullanımı, ormansızlaşma gibi etkiler sonucunda atmosferdeki sera gazlarının birikimi hızla artmıştır (Can ve Baygüven, 2004). Bu hızlı artış, beraberinde küresel iklim değişikliğini getirmiş ve küresel boyutta, insan hayatını etkileyecek boyutlara gelmiştir. İklim değişikliği, *“karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan değişiklikler”* olarak tanımlanmaktadır (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi, 2002).

Dolayısıyla insanın tüketim faaliyetleri, doğa üzerinde kalıcı etkiler oluşturmaktadır. Karbon ayak izi de bu kalıcı etkileri ifade etmenin bir yoludur. Karbon ayak izi; alınan her ürün veya gerçekleştirilen her faaliyet için farklı süreçlerde atmosfere salınan karbon gazı toplamı olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle, birim karbondioksit cinsinden ölçülen, kurum veya bireylerin, ulaşım, ısınma, elektrik tüketimi vb. faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının miktarıdır. Bazı sera gazları doğal yollarla (biyolojik faaliyetler, volkanik faaliyetler, orman yangınları vb.) oluşabilecekleri gibi insan faaliyetleri (fosil yakıtların tüketilmesi, tarım vb.) sonucunda oluşum hızları ve atmosferdeki konsantrasyonları daha da artmaktadır. Bu tür sera gazları; su buharı, karbondioksit, ozon, metan ve nitroz oksitlerdir. Sadece insan faaliyetleri sonucu oluşan sera gazları ise; kloro floro karbonlar (CFCs), hidro kloro floro karbonlar (HCFCs), hidro floro karbonlar (HFCs) ve kükürt hekzaflorür (SF<sub>6</sub>) gibi gazlardır (Houghton ve diğ., 2001; Gillenwater ve diğ., 2002).

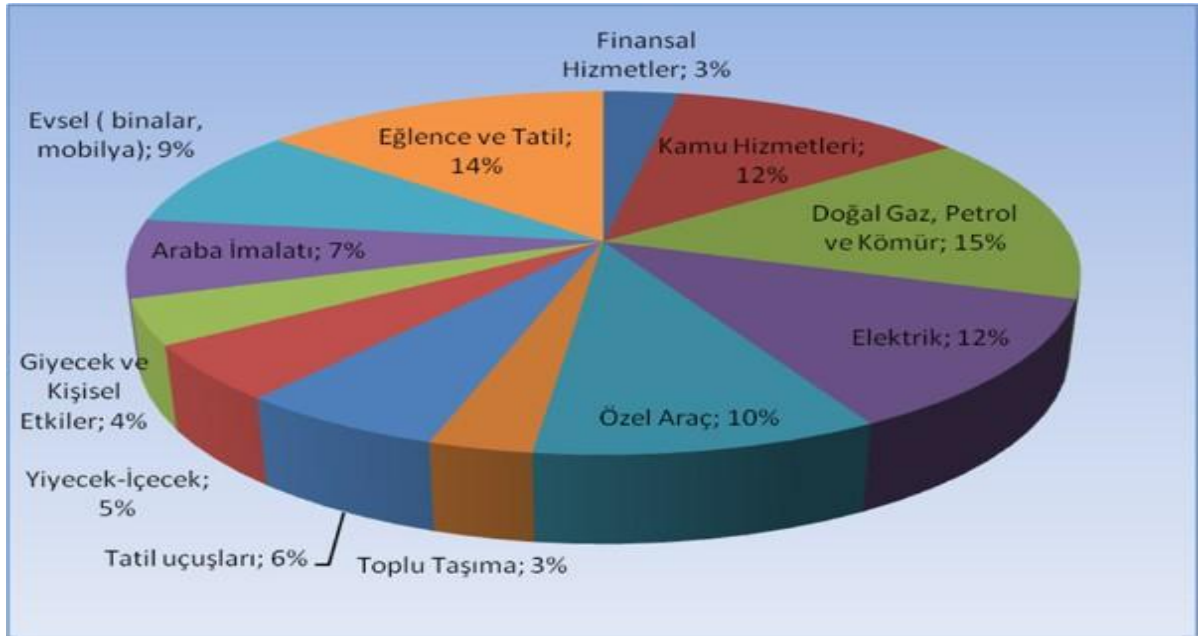
Su buharının en temel kaynağı okyanuslarda meydana gelen buharlaşma olayıdır. Ozon ise, atmosferdeki reaksiyonlar sonucu meydana gelen sera gazıdır. CFC gazları sentetik gazlardır ve insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınırlar. Perflorokarbon gazları ise asal sera gazı denebilecek kadar güçlüdürler ve atmosferdeki ömürleri 1000 yıldan fazladır (Albritton ve diğ., 2001).

Atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu sanayi devrimi öncesinde 275 ppm değerinden 1999 yılında 367 ppm değerine yükselirken (Gillenwater ve diğ., 2002), günümüzde 400 ppm'den daha yüksek değerler görülebilmektedir. Bu ise %43 seviyesinde bir artışı göstermektedir. Bilimsel modeller, karbondioksit konsantrasyonunun 550 ppm'e ulaşmasıyla sıcaklıkların 1,4°C ile 4,5°C arasında artacağını öngörmektedir (Url-1). Bu yüzden atmosfere salınan karbon dioksit gazının bir göstergesi olan karbon ayak izinin belirlenmesi ve azaltmak için önlemler alınması her geçen gün önem kazanmaktadır.

Karbon ayak izi, barınma ve ulaşım da kullanılan enerjinin elde edilmesinden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının ölçüsü olan birincil karbon ayak izi ve hayatımıza giren her bir unsurun yaşam döngüsü boyunca sebep olduğu emisyonun dolaylı göstergesi olan ikincil karbon ayak izi olmak üzere iki farklı kategoride incelenmektedir (IPCC, 2006).

İkincil karbon ayak izinin içinde birincil karbon ayak izini barındırdığını söylemek mümkündür. Yurtdışından ithal edilen gıda veya ürünlerin, tüketiciye ulaşana kadar hava, kara, deniz ve demiryolu ile taşınması sağlanmaktadır. Bu ürünlerde oluşan bozulmadan veya tüketimden kaynaklı atıkların yine aynı ulaşım yollarıyla depolama ve bertaraf alanlarına götürüldüğü göz önüne alınırsa ikincil karbon ayak izi oldukça önemlidir. Bir kişinin ikincil karbon ayak izi, toplam karbon ayak izinin %54'üne eşit olduğu bilinmektedir. Ancak günümüzde, ikincil karbon ayak izinin tam olarak hesabı yapılamamaktadır. Ortalama bir kişinin karbon ayak izini oluşturan unsurlar Şekil 1'de verilmiştir.





Şekil 1. Karbon ayak izini oluşturan unsurlar ve oranları

Figure 1. Elements and Proportions of Carbon Footprint

## MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### Çalışma Alanı (Working Area)

Bu çalışmada, nüfus ve gelişmişlik açısından Konya'nın en büyük ilçesi olan Selçuklu ilçesinin ulaşım, barınma, enerji, atıklar ve diğer etkenler dolayısıyla meydana gelen karbon dioksit gazı emisyonlarının saptanması ve Selçuklu ilçesi karbon ayak izinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Karbon ayak izinin belirlenmesi için ilçedeki trafikte bulunan araçların sayısı, konut sayısı ve konutlardaki elektrik, katı yakıt ve doğal gaz tüketimleri, ilçedeki mevcut raylı sistemin elektrik tüketimi ve oluşan katı atık miktarları gibi veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada, karbon ayak izi hesaplamalarında Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından önerilen yöntemler kullanılmıştır (IPCC, 2006).

Selçuklu ilçesi bölgesel ve ulusal ölçekte, konumu, coğrafyası, sanayisi, tarım alanlarının genişliği, ulaşımı, yatırımları, gelişmişliği vb. pek çok alanda öncü olması sebebiyle cazibe merkezi haline gelmektedir. İlçenin bu özellikleri son yıllarda, ulusal çapta göç almasına sebep olmaktadır. Selçuklu ilçesinin nüfus verileri Tablo 1'de verilmiştir.

Emisyon hesaplama metodları, "Tier" olarak ifade edilen çeşitli bölümlere ayrılmıştır. Burada seviyeyi belirleyen, faaliyet ve teknoloji detaylarıdır. Tier 1 metodu genel olarak daha az veri içeren basit bir yöntem iken, Tier 3 metodu ise daha karmaşık olan ve uzmanlık gerektiren bir yöntemdir. Genel olarak Tier 1 ve diğer Tier yöntemleri şeklinde bir ayırım yapmak mümkündür. Çünkü daha yüksek kademe denilebilen Tier 2 ve Tier 3 yöntemleri, temel olarak aynı mantıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, elde edilen veriler ışığında doğru hesaplama yapılabilmesi adına Tier 2 yöntemi kullanılmıştır (IPCC, 2006).

**Çizelge 1.** Selçuklu ilçesi nüfus verileri (TÜİK, 2017)*Table 1. Population of Selçuklu District, Statistical Institute of Turkey, 2017*

Yıllar	Nüfus
2007	466.233
2010	508.102
2013	565.093
2014	584.644
2015	604.706

**IPCC Tier Metodu (IPCC Tier Method)**

Kara yollarından kaynaklı emisyonların hesabında, resmi kurumlardan ilçedeki mevcut araç sayısı, IPCC 2006 kılavuzundan araçların 100 km'deki ortalama yakıt tüketim verileri, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerinden araçların yıllık ortalama menzilleri elde edilmiştir. Kara yollarından kaynaklı emisyonların hesabında öncelikle araç türlerine göre yakıt tüketim değerleri elde edilmiştir. Bulunan tüketim değerleri dönüşüm faktörleriyle çarpılarak enerji tüketimi bulunmuştur. Daha sonra, bulunan enerji tüketimi verileriyle karbon emisyon faktörleri çarpılarak karbon içeriği verisi elde edilmiştir. Yakıtların oksitlenme oranıyla, bulunan karbon içeriği verisi çarpılınca karbon emisyonu elde edilmiştir. Karbondioksit emisyonu için stokiyometrik dönüşüm faktörü kullanılmıştır (IPCC, 2006).

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar ve bunlardan kaynaklı sera gazları, hava kirliliğinde önemli yer tutmaktadır. Egzoz gazlarından yayılan sera gazları hava kirliliğinin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır. Selçuklu ilçesi trafikteki araç sayıları ve hesaplamada kullanılan ortalama değerler Tablo 2'de verilmiştir. Trafikteki otomobillerin benzin, dizel ve LPG kullananlarının sayısını tam olarak bulmak oldukça zor olmasından ve emisyonu yüksek olan yakıt türünün tüketim miktarı azken, emisyonu az olanın tüketim miktarı yüksek olduğu için birbirini dengelediği düşünülerek bu üç yakıt türünün dönüşüm faktörlerinin ortalaması alınarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Araçların yıl boyu kat ettikleri ortalama menzillerinin otomobiller için %70'inin, kamyonetler için %50'sinin ve kamyonlar için %20'sinin ilçe sınırları içerisinde olduğu kabul edilmiştir.

Havayollarından kaynaklı emisyonların hesabında uçakların iniş/kalkış faaliyetleri ve seyir faaliyetleri dikkate alınmaktadır. İniş/kalkış faaliyetleri (Landing/Take Off Cycle; LTO) 914 metre altındaki yolcu indirip bindirme, iniş kalkış gibi tüm faaliyetleri ifade eder. Seyir faaliyetleri ise; 914 metre üstündeki tüm uçuş aktivitelerini içerir. Selçuklu ilçesi sınırlarında bulunan Konya Havalimanı'ndan havalanan veya iniş yapacak olan uçaklar, 914 metre üzerine ilçe sınırları içerisinde yükselmediğinden seyir faktörü, Selçuklu ilçesi için göz ardı edilmiştir.

**Çizelge 2.** Selçuklu ilçesi taşıt sayıları, ortalama menzilleri ve yakıt tüketimleri (Konya İl Emniyet Müdürlüğü, 2015)*Table 2. Vehicle quantity, average distances and fuel consumption of Selçuklu District, 2015*

Araç Türü	Taşıt Sayısı	Ortalama Menzil (km/yıl)	Yakıt Tüketimi (L/100 km)	Şehir içi Kullanım Oranı
Motosiklet	50.841	50841	4	1.0
Otomobil	218.864	14283	9	0.7
Minibüs	3.472	24750	10.9	1.0
Kamyonet	74.138	18400	10.9	0.5
Kamyon	6.147	19000	29.9	0.2

Havayollarından kaynaklı emisyonların belirlenebilmesi için öncelikle Konya Havalimanı'na iniş/kalkış faaliyeti gerçekleştiren uçakların türleri ve bunların LTO sayıları tespit edilmiştir (DHMI, 2015). Daha sonra bu uçak türlerine göre IPCC 2006 kılavuzunda verilmiş olan LTO başına yakıt tüketim değerleri ve emisyon faktörlerinden faydalanılmıştır.

Hafif Raylı Sistemlerden kaynaklı emisyonlar, Konya Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistemler Ulaştırma Daire Başkanlığı'ndan elde edilen elektrik tüketim verilerinin (11542534 kWh/yıl) Tablo 4'de verilen dönüşüm faktörüyle çarpılması ile elde edilmiştir.

Barınmadan kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının hesabında, Selçuklu ilçesinde hanelerin elektrik, kömür ve doğal gaz kullanım verileri dikkate alınmıştır. Selçuklu ilçesindeki konutların elektrik tüketim verileri Meram Elektrik Perakende Satış A.Ş'nin paylaştığı olduğu verilerden elde edilmiştir. Doğalgaz ve katı yakıt kullanım verileri, çalışma bölgesindeki hanelerin ortalama tüketimleri baz alınarak hesaplanmıştır. Tablo 3'de her bir emisyon kaynağı için ilçedeki hane sayıları ve hesaplamada dikkate alınan ortalama tüketim değerleri verilmiştir.

**Çizelge 3.** Selçuklu ilçesi barınma kaynaklı emisyon hesabı için kullanılan veriler

*Table 3. The data using for the calculation of domestic emission s in Selçuklu District*

Emisyon Kaynağı	Kullanan Hane Sayısı	Ortalama Kullanım (ton-m <sup>3</sup> -kWh/hane)
Kömür	112506	2,5 ton/hane
Doğalgaz-Yaz		24m <sup>3</sup> /hane
Doğalgaz-Sonbahar	25608	120m <sup>3</sup> /hane
Doğalgaz-Kış		341m <sup>3</sup> /hane
Doğalgaz-ilkbahar		45m <sup>3</sup> /hane
Elektrik	134114	752kWh/hane

Katı atıklardan oluşabilecek emisyonların hesabında kullanılan Selçuklu ilçesinin katı atık miktarları, Konya Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilmiştir. Elde edilen bu veriler, Kiriş ve Saltabaş (2011)'in yaptıkları çalışmada belirtilen depolama sahasının ömrü boyunca yaklaşık olarak 170 m<sup>3</sup> gaz/ton atık oluşacağı, bunun %60'ının ilk 10 sene içinde oluşacağı ve %60 CH<sub>4</sub>, %40 CO<sub>2</sub> içerdiği bilgileri kullanarak hacimsel olarak hesaplanmıştır. Daha sonra ideal şartlar için gaz yasası kullanılarak tCO<sub>2</sub>/t atık olarak dönüştürülmüştür. Konya katı atık depolama sahasında oluşan gazlar toplanıp kojenerasyon ünitelerinde yakılarak elektriğe dönüştürüldüğü için oluşan metan gazının yanması ile oluşacak karbondioksit miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen bütün veriler emisyon faktörleri kullanılarak karbondioksit türüne dönüştürülmüştür (Tablo 4).

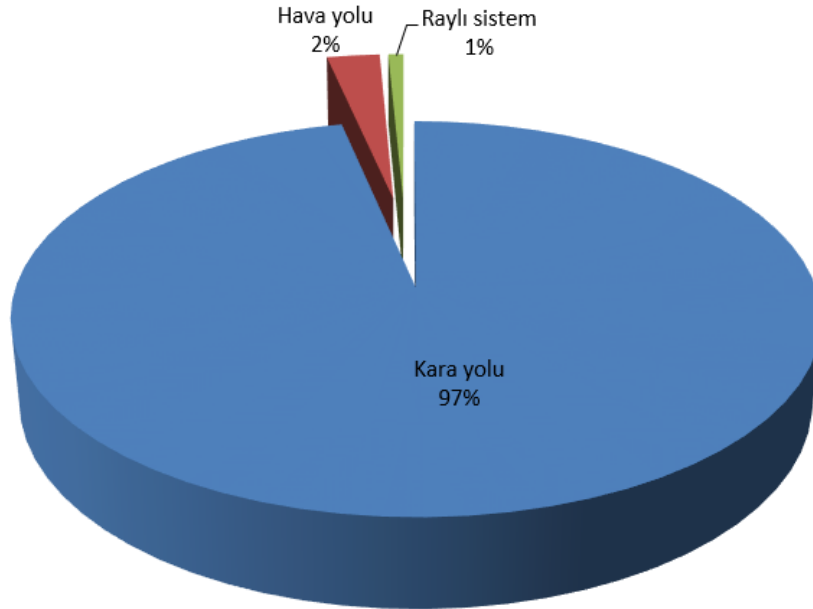
Son olarak Selçuklu ilçesi içerisinde gerçekleştirilmiş olan ağaçlandırma faaliyetlerinin ilçenin karbon ayak izini azaltmadaki etkisinin ne boyutta olduğunu belirlemek için ilçedeki mevcut dikili ağaç sayısı, Konya Orman Bölge Müdürlüğü ve Konya Büyükşehir Belediyesi Park Bahçeler Müdürlüğünden temin edilmiştir. Ağaçların yıllık ortalama 12 kg CO<sub>2</sub> tuttuğu bilgisinden yola çıkarak ilçedeki ağaçlandırma faaliyetlerinin Selçuklu ilçesi karbon ayak izine etkisi belirlenmiştir (Türe, 2014).

**Çizelge 4.** Tier 2 yöntemine göre emisyon hesaplarında kullanılan dönüşüm faktörleri*Table 4. The conversion factors for calculating emissions by using Tier 2 method*

Bileşen	Birimi	Dönüşüm Faktörü	Kaynak
Karayolu Araçları	tCO <sub>2</sub> /10 <sup>3</sup> L benzin	2.30	DEFRA, 2016; IPCC, 2006
Karayolu Araçları	tCO <sub>2</sub> /10 <sup>3</sup> L dizel	2.68	DEFRA, 2016; IPCC, 2006
Karayolu Araçları	tCO <sub>2</sub> /10 <sup>3</sup> L LPG	1.51	DEFRA, 2016
Uçak iniş-kalkışı	tCO <sub>2</sub> /LTO	2.31-2.78	IPCC, 2006
Raylı sistem	tCO <sub>2</sub> /kWh <sub>e</sub>	4.12x10 <sup>-4</sup>	DEFRA, 2016
Kömür yakıtı	tCO <sub>2</sub> /t kömür	2.89	DEFRA, 2016
Doğalgaz	tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	2.03x10 <sup>-3</sup>	DEFRA, 2016
Elektrik	tCO <sub>2</sub> /kWh <sub>e</sub>	4.12x10 <sup>-4</sup>	DEFRA, 2016
Katı atık	tCO <sub>2</sub> /t atık	0.19	Kiriş ve Saltabaş, 2011

**BULGULAR (RESULTS)****Ulaştırma Kaynaklı Emisyonlar (Emissions from Transport)**

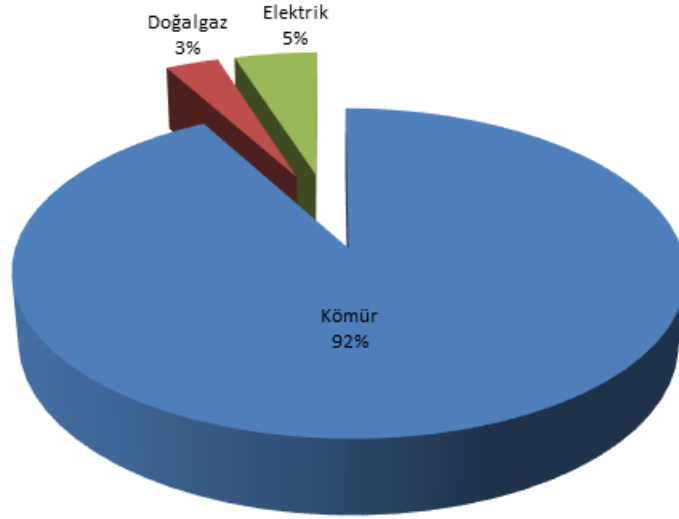
Selçuklu ilçesi ulaştırma kaynaklı emisyonlar toplam 638743 ton CO<sub>2</sub>'dir. Bu miktar içerisinde, karayolu taşımacılığı en büyük paya sahip olup yaklaşık 617246 ton CO<sub>2</sub> emisyonuna sebep olmaktadır. Ulaştırma kaynaklı emisyonlar içerisinde havayollarının katkısı 16472 ton CO<sub>2</sub>'dir. En düşük paya sahip ulaştırma sektörü ise 4756 ton CO<sub>2</sub> ile hafif raylı sistemlerdir. Şekil 2'de ulaştırma kaynaklı emisyonların karşılaştırılabilmesi açısından grafik gösterimi verilmiştir.

**Şekil 2.** Selçuklu ilçesi ulaştırma kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonları (ton CO<sub>2</sub> olarak)*Figure 2. Emissions from transportation for Selçuklu district, ton CO<sub>2</sub>***Barınmadan Kaynaklı Emisyonlar (Emissions from Housing)**

Selçuklu ilçesi barınmadan kaynaklı emisyonlar hesaplanırken, katı yakıt tüketim verileri, doğalgaz tüketim verileri ve elektrik tüketim verileri kullanılmıştır. Selçuklu ilçesinde 112506 hane katı yakıt (kömür) kullanmakta ve toplamda yıllık 281265 ton kömür tüketilmektedir. İlçede 25608 adet konut ise

doğalgaz kullanmakta ve toplamda 1131233 metreküp doğalgaz tüketilmektedir. Selçuklu ilçesinin 2015 yılı konutlarda elektrik tüketim verisi ise 1169685 kWh'tır.

Elde edilen tüketim faktörleriyle, Tablo 4'de verilen dönüşüm faktörleri çarpılarak Selçuklu ilçesinin barınmadan kaynaklı emisyonları elde edilmiştir. Kömür kullanımından kaynaklı emisyonlar; 812855 ton CO<sub>2</sub>, doğalgaz kullanımından kaynaklı emisyonlar; 27535 ton CO<sub>2</sub> ve elektrik kullanımından kaynaklı emisyonlar ise; 42814 ton CO<sub>2</sub>'dir. Şekil 3'de barınmadan kaynaklı emisyonların oranları verilmiştir.



Şekil 3. Selçuklu ilçesi barınmadan kaynaklı emisyon oranları

Figure 3. Emissions rates from Housing to Selçuklu district

#### Katı Atıklardan Kaynaklı Emisyonlar (Solid Waste Emissions)

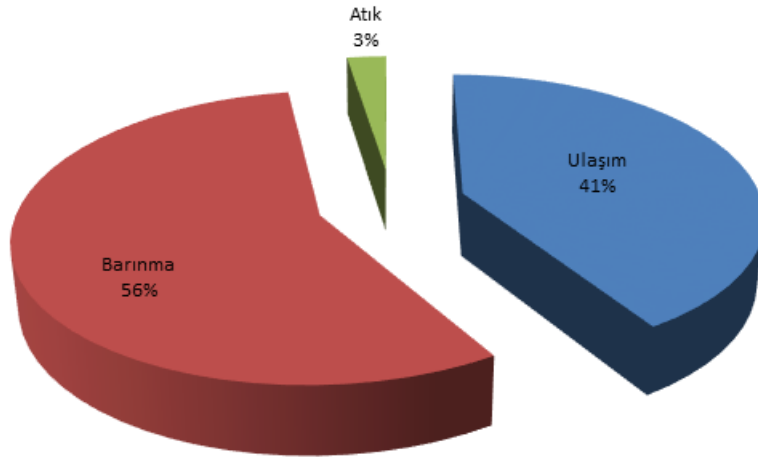
Selçuklu ilçesinin 2015 yılı katı atık miktarı 203830 ton'dur. Konya kentinde katı atıklar düzenli depolama sahasında depolanmakta ve burada organik atıklar anaerobik koşullarda karbondioksit ve metan gazına dönüşmektedir. Oluşan metan gazı yakılarak enerji elde edilmekte ve yanma sonucu yine karbondioksit gazı oluşmaktadır. Bu yüzden, depolanan katı atıklar içerisindeki organik madde içeriğinden kaynaklanacak CO<sub>2</sub> emisyonu literatür verileri dikkate alınarak Çizelge 4'te verilen dönüşüm faktörü ile hesaplanmıştır. (Kiriş ve Saltabaş, 2011). Buradan hareketle Selçuklu ilçesi katı atıklardan kaynaklı karbondioksit emisyonu 38789 ton olarak belirlenmiştir.

Selçuklu ilçesinin karbon ayak izini oluşturan temel faktörlerden ulaşımdan kaynaklı 638743 ton CO<sub>2</sub>, barınmadan kaynaklı 883205 ton CO<sub>2</sub>, ve katı atıklardan kaynaklı 38789 ton CO<sub>2</sub> olmak üzere toplamda 1560737 ton CO<sub>2</sub> emisyonu meydana geldiği hesaplanmıştır (Çizelge 5, Şekil 4).

Çizelge 5. Selçuklu ilçesi karbon ayak izi (2015)

Table 5. Carbon footprint of Selçuklu district

Kaynak	CO <sub>2</sub> Emisyonları (ton CO <sub>2</sub> )
Ulaşım (Karayolu, Havayolu ve Hafif Raylı Sistem)	638743
Barınma (Kömür, Doğalgaz, Elektrik)	883205
Katı Atıklar	38789
<b>TOPLAM</b>	<b>1560737</b>



Şekil 4. Kaynaklara göre karbon ayak izi oranları  
Figure 4. Carbon footprint ratios by sources

#### Ağaçlandırmanın Selçuklu Karbon Ayak İzine Etkisi (The Effect of Afforestation on the Selçuklu Carbon Footprint)

İlçedeki mevcut ağaç sayısı 2015 yılı itibariyle yaklaşık 51030000 adet olarak tespit edilmiştir. Bir ağacın fotosentez için yılda ortalama 12 kg CO<sub>2</sub> tutarak dönüştürdüğü kabul edilerek ilçedeki ağaçların karbon ayak izine etkisi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

$$\text{Tutulan CO}_2 \text{ Miktarı (ton CO}_2\text{)} = \text{Ağaç Sayısı} \times \text{Bir ağacın yılda tuttuğu CO}_2\text{(ton CO}_2\text{)}$$

$$\text{Tutulan CO}_2 \text{ Miktarı} = 51030000 \times 0,012 \text{ ton CO}_2$$

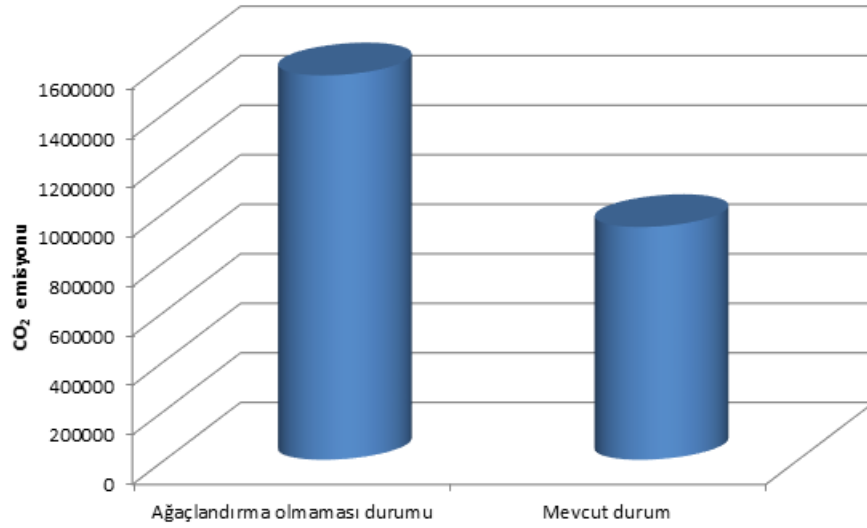
$$\text{Tutulan CO}_2 \text{ Miktarı} = 612360 \text{ ton CO}_2$$

$$\text{Düzeltilmiş Emisyon (ton CO}_2\text{)} = \text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} - \text{Ağaçlar Tarafından Tutulan CO}_2$$

$$\text{Düzeltilmiş Emisyon (ton CO}_2\text{)} = 1560737 - 612360$$

$$\text{Düzeltilmiş Emisyon (ton CO}_2\text{)} = 948377 \text{ ton CO}_2$$

Selçuklu ilçesindeki ağaçlandırma uygulamaları sayesinde ilçenin karbon ayak izi %39 oranında azaltılmıştır. İlçedeki ağaçlandırma uygulamalarının yapılmaması durumu ve mevcut durum arasındaki farklar, yani ağaçlandırma uygulamalarının etkisi Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Ağaçlandırmanın Selçuklu ilçesi karbon ayak izine etkisi

Figure 5. The Effect of Afforestation on the Selçuklu Carbon Footprint

#### Anahtar Performans Göstergesi (KeyPerformanceIndicator, KPI)

Anahtar performans göstergesi (KPI) endüstriyel alanda, performans ölçüğü anlamında kullanılan bir terimdir. Bu terim karbon ayak izi ölçümlerinde "öznelleştirme", yani kişiyi veya bir bölgeyi baz alarak ölçüm yapmada kullanılmaktadır. Selçuklu ilçesinin KPI değerleri Tablo 6'da ve bazı ülke ve şehirler ile karşılaştırılması Tablo 7'de verilmiştir. Bahsedilen çalışmalarla kıyaslandığında Selçuklu ilçesinin karbondioksit emisyonu eşdeğerinin ortalamasının daha altında olduğu görülmektedir. Genel KPI verilerinde ağaçlandırmanın etkisi dikkate alınarak hesaplama yapılmış, ancak konut ve ulaşım için verilen değerlerde ağaçlandırmanın etkisi göz ardı edilmiştir. Selçuklu ilçesinin nüfusu ve sosyo-ekonomik durumu göz önüne alınarak Türkiye'deki birçok ilden daha büyük olduğu düşünüldüğünde, ortaya çıkan sonuç örnek teşkil etmesi bakımından önemlidir. Bununla birlikte, bu çalışmada sanayi kaynaklı emisyonlar hesaplanmadığı için Konya sanayisinin önemli bir kısmını barındıran ilçede emisyon değerlerinin daha yüksek olacağı söylenebilir.

TÜİK'in Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) metodolojisi ile hazırladığı 2014 Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri'ne göre Türkiye'nin tüm sera gazı emisyonlarının CO<sub>2</sub> eşdeğeri cinsinden yaklaşık olarak 468 milyon ton CO<sub>2</sub> olduğu bilinmektedir (TÜİK, 2017). Selçuklu ilçesinin 2015 yılına ait CO<sub>2</sub> emisyonu ise 0,94 milyon ton olarak hesaplanmıştır. Bu durumda ilçenin ulusal CO<sub>2</sub> emisyonu içerisindeki payının yaklaşık %0,2 olduğu söylenebilir.

Çizelge 6. Selçuklu ilçesi KPI verileri

Table 6. KPI data of Selçukludistrict

Parametre	Veriler	Bireysel CO <sub>2</sub> Miktarı (tCO <sub>2</sub> /kişi)	Alansal CO <sub>2</sub> Miktarı (tCO <sub>2</sub> /km <sup>2</sup> )
Toplam CO <sub>2</sub> Miktarı (ton CO <sub>2</sub> )	948377		
Kişi Sayısı	604706	1.57	461
Yüzölçümü (km <sup>2</sup> )	2056		

**Çizelge 7.** Ülkelerin ve bazı şehirlerin KPI (tCO<sub>2</sub>/kişi) açısından karşılaştırılması  
*Table 7. The comparison of countries and some cities according to KPI (tCO<sub>2</sub>/person)*

Ülke	tCO <sub>2</sub> /kişi	Sanayi	Konut	Ulaşım	Kaynak
Dünya ortalaması	4.29	-	-	-	Türe, 2014
OECD ortalaması	9.83	-	-	-	Türe, 2014
Türkiye ortalaması	6.08	-	-	-	TÜİK, 2017
Türkiye	4.52	3.11	1.59	2.93	Atabey, 2013
Almanya	4.80	3.28	1.79	3.01	Atabey, 2013
İspanya	4.70	3.23	1.23	3.47	Atabey, 2013
Yunanistan	5.98	4.10	1.74	4.24	Atabey, 2013
Danimarka	4.48	2.48	0.84	3.64	Atabey, 2013
İsveç	3.66	1.19	0.26	3.40	Atabey, 2013
Hollanda	8.32	2.57	1.74	6.58	Atabey, 2013
Eskişehir	6.70	-	-	-	Türe, 2014
İstanbul	3.10	-	-	-	Türe, 2014
İzmir	4.86	-	-	-	Anonim, 2016
Antalya	4.20	-	-	-	Türe, 2014
Kadıköy/İstanbul	3.06	-	-	-	Anonim, 2014a
Tepebaşı/Eskişehir	2.75	-	-	-	Anonim, 2014b
Bornova/İzmir	2.50	-	-	-	Anonim, 2013
Maltepe/İstanbul	2.94	-	-	-	Anonim, 2015
Selçuklu/Konya	1.57	-	1.46	1.06	Bu çalışma

## SONUÇLAR (DISCUSSIONS)

Selçuklu ilçesi için karbondioksit emisyonu açısından öne çıkan hususlar aşağıda özetlenmiştir;

- Ulaştırma kaynaklı emisyonlar içerisinde en yüksek emisyon kaynağı karayolu ulaşımıdır. Bunun başlıca sebebi ilçedeki araç sayısının fazlalığı ve bireylerin toplu taşıma yerine kişisel araçları tercih etmeleridir. Ulaşımdan kaynaklı emisyonu düşürmek için hafif raylı sistemin yaygınlaştırılması önemli bir etki sağlayacaktır.

- Selçuklu ilçesinin barınmadan kaynaklı emisyonları içerisinde %54 oranıyla en büyük pay kömür kullanımına aittir. Çalışmanın yapıldığı tarihte ilçede kömür kullanan hane sayısının fazla olmasının bunda etkisi büyük olmuştur. Bu sonuç, kömür kullanımının sera gazı emisyonlarını ne kadar fazla artırdığını göstermektedir. Doğalgaz kullanımı, kömür kullanımına nazaran daha düşük etkiler göstermektedir.

- Selçuklu ilçesinin 2015 yılı karbon ayak izi içerisinde en düşük paya sahip olan kaynak katı atıklardır.

Bu değerlendirmeler ışığında aşağıdaki önerilerin uygulanması ile emisyon miktarını ve karbon ayak izini daha aşağı seviyelere çekmek mümkün olabilecektir;

- Ağaçlandırmanın kent kültürü haline getirilerek yaygınlaştırılması, insanların duyarlılığının artırılması,
- Binalarda ve sanayide enerji verimliliğinin artırılması,
- Yakın mesafelere yaya ulaşımının özendirilmesi, toplu taşımanın özendirilmesi ve bisiklet kullanımının artırılması,
- Doğalgaz kullanımının ilçede daha fazla yaygınlaşması.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

Albritton, D. L., Cicerone, R. J., Barron, E. J., Dickinson, R. E., Fung, I. Y., Hansen, J. E and Karl, T. R., 2001. ClimateChangeScience: An Analysis of SomeKeyQuestions, pages: 9-14, Committee on Science of ClimateChange, National Academy Press, Washington, D.C.



- Anonim, 2016. İzmir Büyükşehir Belediyesi, Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı, Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı Sağlıklı Kentler ve Temiz Enerji Şube Müdürlüğü.
- Anonim, 2013. Bornova Belediyesi, Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı, Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü.
- Anonim, 2014a. Kadıköy Belediyesi, Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı.
- Anonim, 2014b. Tepebaşı Belediyesi, Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı.
- Anonim, 2015. Maltepe Belediyesi, Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı.
- Atabey, T., 2013. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
- Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Ekim 2002
- Can, A. ve Baygüven, B., 2004. Sera Gazları Emisyon Envanteri Çalışma Grubu Taslak Raporu, TÜİK, Çevre İstatistikleri Şubesi, Ankara.
- DHMİ Hava Trafik Raporları, Konya Devlet Hava Meydanları İşletmesi, 2015
- DEFRA (Department for Environment, Food & Rural Affairs), 2016, UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting, UK.
- Gillenwater, M., Van Pelt, M. M. ve Peterson, K., 2002. Greenhouse Gases and Global Warming Potential Values, Excerpt From The Inventory of US Greenhouse Emissions and Sinks: 1990-2000, pages: 4-9, US Environmental Protection Agency, USA.
- Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A., 2001, Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge University Press, 40 West 20th Street, New York, NY 10011-4211, USA.
- IPCC/UNEP/OECD/IEA, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II, Energy, Mobile Combustion; pages: 8-73
- Kiriş, A., Saltabaş, F., 2011. The Landfill Gas Management at Sanitary Landfill Site and Istanbul Case Study, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Sigma 3, 209-218.
- TÜİK, Seragazi Emisyon Envanteri Raporu, Sayı: 21582, 18 Nisan 2016, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21582>, Erişim Tarihi: 31.01.2017
- Türe, C., Şehirlerin İtibarı İçin Küçük Karbon Ayak İzi, 2014
- URL-1: <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/how-much-will-earth-warm-if-carbon-dioxide-doubles-pre-industrial-levels>

## OPTIMIZATION OF SYNTHESIS PARAMETERS FOR LEAD OXIDE NANOPARTICLES USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

<sup>1</sup>Ismail Kutlugün AKBAY, <sup>2\*</sup>Ahmet GÜNGÖR, <sup>3</sup>Rükan GENÇ, <sup>4</sup>Tonguç ÖZDEMİR

<sup>1,2,4</sup>Department of Chemical Engineering, Mersin University, Mersin, Turkey,

<sup>3</sup>Advanced Technology Research and Application Center, Mersin University, 33343, Mersin, Turkey

<sup>1</sup>akbay@mersin.edu.tr, <sup>2</sup>ahmet.gungor@mersin.edu.tr, <sup>3</sup>rukangnc@gmail.com,

<sup>4</sup>tonguc.ozdemir@gmail.com

(Geliş/Received: 25.09.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 11.12.2018)

**ABSTRACT:** Nano-sized lead oxide has useful applications that can be used in industry. In this study, the synthesis parameters were optimized using response surface methodology and ANOVA study was also carried out. Reaction temperature, sodium hydroxide and lead (II) acetate concentration were studied as the factors and the particle size was selected as the response variable. The modification was lead to increase the adequate precision of the model. Close results between  $R^2$  (correlation coefficient) and  $R^2_{adj}$  showed the accuracy of the model. The optimum results of the study were found 14.89 M NaOH concentration, 0.87 M Pb(II)Ac and reaction temperature of 88.56 °C. The particle size of lead II oxide was found to be 19.75 nm under optimum parameters.

**Key Words:** Central Composite Design, Lead Oxide, Nanoparticle, Optimization, RSM

### Yüzey Cevap Metodolojisi Kullanılarak Kurşun Oksit Nanoparçacıklarının Sentez Parametrelerinin Optimizasyonu

**ÖZ:** Nano boyutlu kurşun oksit, endüstride kullanılabilecek faydalı uygulamalara sahiptir. Bu çalışmada, sentez parametreleri cevap yüzey metodolojisi kullanılarak optimize edilmiş ve ANOVA çalışması da yapılmıştır. Sentez parametreleri olarak reaksiyon sıcaklığı, sodyum hidroksit ve kurşun (II) asetat konsantrasyonu incelenmiştir ve parçacık boyutu cevap değişkeni olarak seçilmiştir. Optimizasyon sonucunda modelin hassasiyeti artmıştır.  $R^2$  (korelasyon katsayısı) ile  $R^2_{adj}$  arasındaki yakın sonuç, modelin doğruluğunu göstermiştir. Çalışmanın sonucunda, 14.89 M NaOH konsantrasyonu, 0.87 M Pb (II)Ac konsantrasyonu ve 88.56 ° C reaksiyon sıcaklığı optimum sentez koşulları olarak belirlenmiştir. Kurşun (II) oksidin parçacık büyüklüğü, optimum parametreler altında 19.75 nm olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Merkezi Kompozit Dizayn, Kurşun Oksit, Nanoparçacık, Optimizasyon, RSM

## INTRODUCTION

Nanoparticles have enchanted properties such as low density, high surface to volume ratio and quantum properties. There is a growing interest in developing nano-sized particles of different materials. Up until, there are different synthesis methods for nanoparticle synthesis such as; electrolysis, sonochemical synthesis, co-precipitation, hydrothermal, thermal decomposition and spray pyrolysis. Even with these methods, the particle size control could be the main problem for maintaining small diameters and narrow size distribution(Li et al. 2015; Weng et al. 2014; Xing et al. 2015).

To solve this problem, optimization methods could be benefited. One of the easiest and powerful methods is response surface methodology (RSM). RSM, a mathematical approach for finding the

optimum conditions for a system, is widely used for optimization (Akbay, Güngör, and Özdemir 2017; Cho and Zoh 2007). RSM is one of most useful the design of experiments method that used to calculate the values for the unknown function approximately with fewer input values. The one at a time method for optimization is bothersome and time-consuming, whereas, the RSM allows the reduction in the experimental trials and has automated designing system according to the variables (Körbahti and Taşyürek 2015; Raissi and Farsani 2009).

As it is well known, lead is used in various areas for many applications. Lead oxide has different crystalline forms such as PbO, PbO<sub>2</sub>, and etc. In particular, PbO has two different crystalline forms namely, litharge ( $\alpha$ -PbO) and massicot ( $\beta$ -PbO). The nano-sized lead oxide is attracting the attention of researchers for many decades. Battery, sensor, active layers, radiation shielding are the main usage areas of lead oxide (Hassan Karami, Karimi, and Haghdar 2008; Wilkinson et al. 2001).

There are several studies regarding the synthesis of nanoparticles with obtained parameters with different methods whereas there is no literature on the optimization of Lead Oxide synthesis with the RSM method. Vaidyanathan et al. (2010) studied silver nanoparticle synthesis parameters by optimization. They optimized the enzymatic activity on particle size. The particles synthesized were in the range from 10 to 80 nm. Even with optimization, particle size distribution was not sufficient (Vaidyanathan et al. 2010). Ba-Abbad et al. (2015) studied the nano-sized nickel oxide optimization using Box-Behnken design. The process parameters were selected as molar ratio, solution pH and calcination temperature. The particle size for optimized parameters was found to be 14 nm (Ba-Abbad et al. 2015). Sun et al. studied optimization and modeling of TiO<sub>2</sub> nanoparticles coated on hollow glass microspheres. The experimental parameters were chosen as calcination temperature, titanium butoxide amount and template F127. The synthesized particles were used for degradation efficiency of methyl orange (Sun et al. 2014). Ba-Abbad et al. studied the optimization of ZnO nanoparticles synthesized with minimal size using D-optimal design. The optimum conditions were reported as molar ratio of 1.76, pH of 1.5 and calcination temperature of 402 °C (Ba-Abbad et al. 2013).

In this study, the parameters of nano-sized lead oxide synthesis were examined and the optimum parameters were found via RSM. The NaOH and Pb(II)Ac concentration and reaction temperature were selected as independent variables for optimization parameters. ANOVA and regression studies were also carried out. The optimized parameters were tested experimentally. The particle size obtained from experimental study were similar with the optimization study.

## EXPERIMENTAL

Central composite design (CCD), used for the RSM for optimization, is a strong experimental and statistical way for designing experiments parameters. CCD with three conditions at three values for one response (particle size) was coded between the -1 and +1 using Stat-Ease Design Expert 10.0™ (Akbay, Güngör, and Özdemir 2017). The three conditions for optimization software were, NaOH concentration, (10, 14.5 and 19M); Pb(II)Ac concentration (0.8, 1.0 and 1.2M) and reaction temperature, (80, 90, 100 °C). Design parameters are given in Table 1.

**Table 1.** Experimental design for the study

Code	Experimental parameters	-1	0	+1
A	NaOH Concentration (mol/L)	10	14.5	19
B	Pb(II)Ac Concentration (mol/L)	0.8	1.0	1.2
C	Reaction Temperature (°C)	80	90	100

To determine variation between the conditions and the response, analysis of variables (ANOVA) were done. "F", "R<sup>2</sup> (correlation coefficient)" and "p" values were used to determine the significance of the model and the fitting of the model to the experimental results (Akbay, Güngör, and Özdemir 2017; Cho and Zoh 2007).

Lead (II) acetate trihydrate (Pb(C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O) powder (99.99%), sodium hydroxide (NaOH) (98%) and 25% aqueous solution of acetic acid (CH<sub>3</sub>COOH) (99%) were obtained from Sigma-Aldrich. All chemicals

were used as received.

The aqueous solution of lead(II) acetate trihydrate was heated to constant temperature. The heated solution was added directly in aqueous NaOH solution under high rpm stirring. The mixture was stirred until obtaining a red colored solution. The precipitate was filtered with a Buchner funnel and washed with deionized water several times. The washed particles were frozen at -80 °C for a night. The frozen particles were dried in a freeze dryer (INNOVA mark INOFD-10 model) thorough lyophilization. The characterization of the particles was described in another study of our research group (Güngör, Genç, and Özdemir 2017).

The size of nanoparticles was measured with Zetasizer Nano ZS from Malvern with a detector angle of 173°. The particles size was calculated 3 times. The 10 % (v:v) acetic acid solution was used as a solvent.

## RESULTS AND DISCUSSION

### ANOVA Results

ANOVA for Response Surface Reduced Fifth model results and model equation are shown in Table 2. The optimal model for the study was selected as modified to surface reduced fifth model. Values of "Prob>F" less than 0.05 indicate that model terms are significant, while the values greater than 0.1 indicate that the model terms are not significant (Körbahti and Taşyürek 2015). To maintain the hierarchical order, the not significant parameters were also added to the optimization model. It was seen that Pb(II)Ac concentration and reaction temperature were significant, whereas NaOH concentration was not significant due to high p-value. p-values for all conditions model are given in Table 2, which show that the models were significant because there was only a 0.01% change. This 0.01%change could occur due to noise(Dehghani et al. 2017; Yaghmaeian et al. 2016).

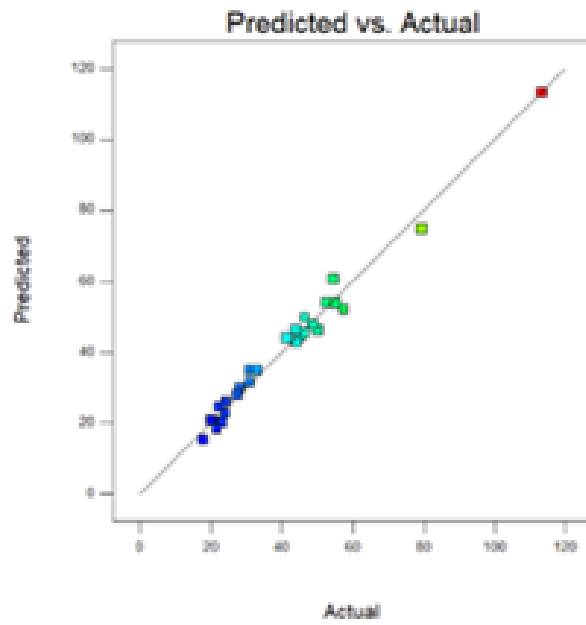
**Table 2.** ANOVA for Response Surface Reduced Fifth model and equation of the model

Source	Sum of Squares	Mean Square	Coefficient Estimate	Standard Error	F Value	p-value
Model	10733.56	596.31	26.09	3.65	24.93	< 0.0001
A-NaOH	7.03	7.03	-1.87	3.46	0.29	0.6024
B-Pb-Ac	710.90	710.90	6.28	1.15	29.73	0.0006
C-T	402.39	402.39	10.57	2.58	16.83	0.0034
AB	49.29	49.29	2.03	1.41	2.06	0.1890
AC	119.84	119.84	5.47	2.45	5.01	0.0556
BC	2269.58	2269.58	13.75	1.41	94.90	< 0.0001
A <sup>2</sup>	787.25	787.25	19.84	3.46	32.92	0.0004
B <sup>2</sup>	38.46	38.46	-4.39	3.46	1.61	0.2404
C <sup>2</sup>	63.69	63.69	7.29	4.46	2.66	0.1413
ABC	464.36	464.36	7.62	1.73	19.42	0.0023
A <sup>2</sup> C	1.20	1.20	0.55	2.45	0.050	0.8285
AB <sup>2</sup>	224.73	224.73	-12.98	4.24	9.40	0.0155
AC <sup>2</sup>	4.91	4.91	1.92	4.24	0.21	0.6625
B <sup>2</sup> C	12.55	12.55	-1.77	2.45	0.52	0.4894
A <sup>2</sup> C <sup>2</sup>	342.67	342.67	-16.03	4.24	14.33	0.0053
AB <sup>2</sup> C	287.89	287.89	10.39	2.99	12.04	0.0084
B <sup>2</sup> C <sup>2</sup>	390.32	390.32	17.11	4.24	16.32	0.0037
AB <sup>2</sup> C <sup>2</sup>	407.26	407.26	21.40	5.19	17.03	0.0033
Particle Size = 26.09 + -1.86 * A + 6.28 * B + 10.57 * C + 2.026 * AB + 5.47* AC + 13.75 * BC + 19.84 * A <sup>2</sup> + -4.39 * B <sup>2</sup> + 7.29 * C <sup>2</sup> + 7.62 * ABC + 0.55 * A <sup>2</sup> C + -12.98 * AB <sup>2</sup> + 1.92 * AC <sup>2</sup> + -1.77 * B <sup>2</sup> C + -16.03 * A <sup>2</sup> C <sup>2</sup> + 10.39 * AB <sup>2</sup> C + 17.11 * B <sup>2</sup> C <sup>2</sup> + 21.40 * AB <sup>2</sup> C <sup>2</sup>						

The regression coefficients of the suggested model are shown in Table 3. The similar regressions ( $R^2$  (correlation coefficient) and  $R^2_{adj}$ ) shows that the model is convenient. The predicted regression coefficients values ( $R^2_{pred}$ ) are in close agreement with the adjusted regression coefficients values ( $R^2_{adj}$ ), that is because the difference between the two is less than 0.2 (Akbat, Güngör, and Özdemir 2017). For appropriate optimization models, an adequate precision ratio greater than 4 is desirable. The adequate precision ratio is given in Table 3, and it is much higher than 4, which indicates the accuracy of the model. Figure 1 shows that the predicted and actual values of the model are similar and this proved the accuracy of the model developed. The close results for different parameters show the accuracy of the optimization study.

**Table 3.** Regression values of the optimization study

<b>R-Squared</b>	0.9825
<b>Adj R-Squared</b>	0.9431
<b>Pred R-Squared</b>	0.7433
<b>Adeq Precision</b>	23.852



**Figure 1.** Predicted and Actual values for the optimization study

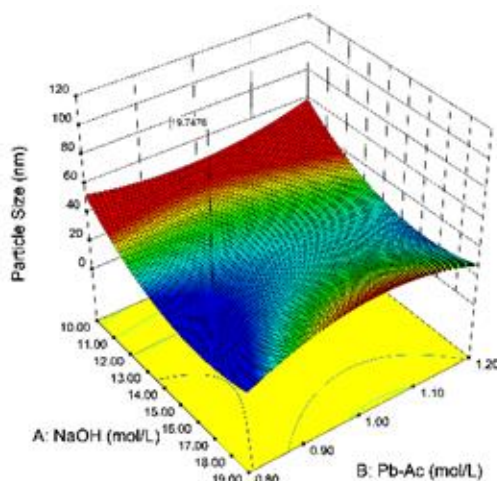
### Optimization Results

In order to have a controllable final particle size, optimization studies were conducted by changing important experimental parameters that are known to be effective in particle growth. For this purpose, the optimization study consists of NaOH concentration, Pb(II)Ac concentration and reaction temperature were examined via RSM. The experimental design and the observed responses are given in Table 4.

**Table 4.** Experimental design and observed responses

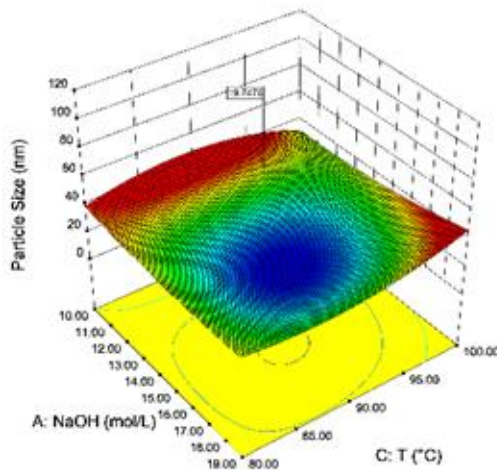
<b>NaOH Concentration</b>	<b>Pb(II)Ac Concentration</b>	<b>Temperature</b>	<b>Particle Size</b>
<b>mol/L</b>	<b>mol/L</b>	<b>°C</b>	<b>nm</b>
14.50	1.00	80.00	24.011
19.00	0.80	80.00	43.82
19.00	0.80	90.00	21.57
14.50	1.00	90.00	24.3
19.00	1.20	80.00	23.11
14.50	1.20	80.00	28.16
10.00	1.20	90.00	54.49
10.00	1.00	100.00	44.04
10.00	0.80	90.00	57.42
19.00	1.20	90.00	30.91
19.00	1.00	100.00	55.075
14.50	1.20	100.00	79.32
14.50	0.80	90.00	17.72
14.50	1.00	100.00	41.44
10.00	1.00	90.00	48.7
10.00	1.00	80.00	30.89
19.00	1.00	90.00	44.95
14.50	1.20	90.00	27.48
10.00	0.80	100.00	22.26
10.00	1.20	100.00	46.34
19.00	1.00	80.00	20.031
14.50	0.80	80.00	45.23
10.00	1.20	80.00	50.13
19.00	1.20	100.00	113.25
19.00	0.80	100.00	52.67
10.00	0.80	80.00	46.39
14.50	0.80	100.00	32.99

Figure 2 shows the effects of NaOH and Pb(II)Ac concentration on particle size. High concentration of NaOH and low concentration of Pb(II)Ac leads to smaller particle size. Higher concentration of NaOH tends to grow smaller particles due to the higher nucleation rate (Jyoti, Vijay, and Radha 2013). When the Pb(II)Ac concentration increased, a fast accumulation over the seeds occurs and results with agglomeration which leads to larger particles. Therefore, a lower concentration of Pb(II)Ac gives better results.



**Figure 2.** The effects of NaOH and Pb(II)Ac concentration on the particle size of lead oxide nanoparticles

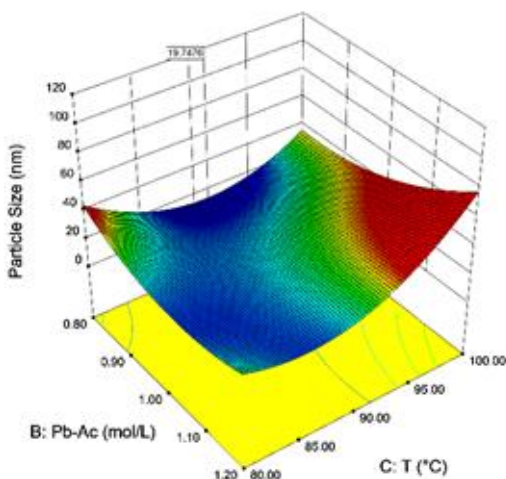
Figure 3 shows the effects of NaOH concentration and reaction temperature on particle size. As it is obvious that the medium concentration of NaOH leads best results. As it is well-known that, the reaction rate is increased with high temperatures. However, as the reaction temperature exceeds 90 °C, agglomeration occurs due to the increased reaction rates. Moreover, the reaction medium, water, starts to boil at higher temperatures. However, due to the water, which is the reaction medium in this study, reaches the boiling temperature for higher temperatures.



**Figure 3.** The effects of NaOH concentration and reaction temperature on the particle size of lead oxide nanoparticles

Figure 4 shows the effects of Pb(II)Ac concentration and reaction temperature on particle size. It is clear that, the reaction rate is increased with high temperatures. Unfortunately, as it was observed, higher reaction temperature caused agglomeration that leads to bigger particles. For Pb(II)Ac concentration case, with low Pb(II)Ac concentration, available precursor number per reducer has increased and this leads to smaller particle sizes (Genç et al. 2011).





**Figure 4.** The effects of Pb(II)Ac concentration and reaction temperature on the particle size of lead oxide nanoparticles

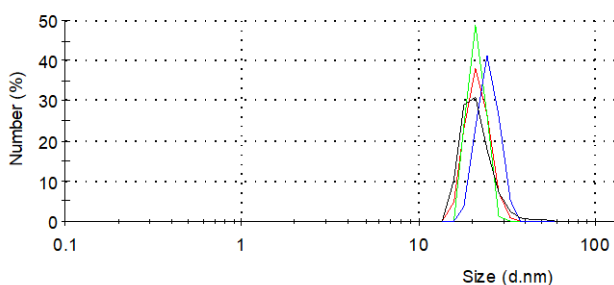
Optimization test results are given in Table 5. With the optimization study, we managed to decrease the reaction temperatures while achieving smaller particles. In addition, the usage of NaOH amount was decreased. The optimization study resulted with a 19.75 nm particle size.

**Table 5.** Optimization results of Lead (II) oxide nanoparticle size

Factor	Factor	Optimum
A	NaOH (M)	14.89
B	Pb(II)Ac (M)	0.87
C	T (°C)	88.56
Optimum Result		19.75 nm

**Experimental testing of the Optimized parameters**

Theoretical calculations could sometimes be misleading without an experimental test. To prove the optimum test parameters, a test was carried out with the optimum parameters. To improve the accuracy of the calculations, the DLS test were done quartet. Size distribution of particles under optimum parameters are given in Figure 5. As it is seen from Figure 5, the particles size is about about 20 nm. Additionally, size distributions of particles are given in Table 5. Table 6 shows that mean particle size is 22.26 nm. The majority of the particle size distribution is under 32 nm. The optimization study leads to a narrow size distribution. The obtained results are in line with the RSM test and it proves the accuracy and precision of the optimization study that was carried out.



**Figure 5.** Size distribution of particle size under optimum parameters.

**Table 6.** Size distribution of particles

Particle Size (nm)	% Percent
15.69	3.7
18.17	19.8
21.04	35.4
24.36	27.9
28.21	10.5
32.67	2
37.84	0.2
43.82	0.1
50.75	0.1
58.77	0.1
<b>Mean Particle Size</b>	<b>22.26</b>

So-called optimization methods such as “one-at-a-time” only find optimum results at the studied parameters. Similar results were obtained with broader size distribution for the study our group that conducted by our research group (Güngör, Genç, and Özdemir 2017). The advantage of our study is the well-defined reaction parameters such as reducing agent concentration and reaction temperature. Moreover, the obtained result is compared with the literature. This comparison has shown that our study has the smallest particle size and narrow distribution. The literature comparison is given in Table 7.

**Table 7.** Literature comparison based on the lead oxide particle size

Group	Particle Size (nm)	Method	Reference
Karami et al.	40	Sonochemical	(Hasan Karami et al. 2008)
Ranjbar et al.	60	Sonochemical	(Ranjbar and Morsali 2009)
Wang et al.	45	Self-propagate	(Wang and Zhu 2012)
Alagar et al.	60	Co-precipitation	(Alagar, Theivasant, and Raja 2012)
Arulmozhi et al.	30	Chemical Synthesis	(Arulmozhi and Mythili 2013)
Akbay et al.	22	Co-precipitation&Lyophilization	Current study

The confidence interval for the RSM study is given in Table 7. For 95% confidence interval, low and high values were found 12.84 and 26.65, respectively. The experimental result of 22.26 nm is between the %95 confidence interval which proved the theoretical result via experimental results.

**Table 7.** Confidence interval for the test results

Response	Optimum Result	Std Dev	95% CI low	95% CI high
Particle Size	19.75 nm	±4.89	12.84 nm	26.65 nm

## CONCLUSIONS

Nanoparticles has many advantages over macro-sized particles such as, high surface area, quantum particle effects and so on. In this study, nano-sized lead (II) oxide synthesis parameters were optimized via RSM. The optimum results of the synthesis were found 14.89M NaOH concentration, 0.87M Pb(II)Ac and reaction temperature of 88.56 °C. Under these optimum parameters, the particle size of lead II oxide was found to be 19.75 nm. The results showed that higher reaction temperature caused agglomeration and higher NaOH and lower Pb(II)Ac concentration leads to higher precursor number per reducer, which resulted in lower particle size. ANOVA and regression test results with high R<sup>2</sup> (correlation coefficient) values shown the accuracy of the model. Optimum parameters were tested experimentally and the obtained particle size were found as 22.26 nm. Moreover, a narrow particle size distribution was obtained. These results were in line with 95% confidence interval obtained from RSM software. In summary, smaller

particles with less sources were achieved using RSM. Obtained particles, which has small in diameter and narrow in distribution, could be find usage in photovoltaic, solar cells, electrochemical and catalytical applications.

### Nomenclature

RSM	: Response Surface Methodology
CCD	: Central Composite Design
P	: Probability
ANOVA	: Analysis of Variances
Pred	: Predicted
Adj	: Adjusted

### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

### REFERENCES

- Akbay, İsmail Kutlugün, Ahmet Güngör, and Tonguç Özdemir. 2017. "Optimization of the Vulcanization Parameters for Ethylene-propylene-diene Termonomer (EPDM)/Ground Waste Tyre Composite Using Response Surface Methodology." *Polymer Bulletin* 74(12): 5095–5109.
- Alagar, M., T. Theivasant, and A. Kubera Raja. 2012. "Chemical Synthesis of Nano-Sized Particles of Lead Oxide and Their Characterization Studies." *Journal of Applied Sciences* 12(4): 398–401. <http://www.scialert.net/abstract/?doi=jas.2012.398.401> (June 11, 2018).
- Arulmozhi, K. T., and N. Mythili. 2013. "Studies on the Chemical Synthesis and Characterization of Lead Oxide Nanoparticles with Different Organic Capping Agents." *AIP Advances* 3(12): 122122. <http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4858419> (June 11, 2018).
- Ba-Abbad, Muneer M. et al. 2013. "Optimization of Process Parameters Using D-Optimal Design for Synthesis of ZnO Nanoparticles via Sol-Gel Technique." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 19(1): 99–105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2012.07.010>.
- — —. 2015. "Optimization of Nickel Oxide Nanoparticle Synthesis through the Sol-Gel Method Using Box-Behnken Design." *Materials and Design* 86: 948–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.176>.
- Cho, Il Hyoung, and Kyung Duk Zoh. 2007. "Photocatalytic Degradation of Azo Dye (Reactive Red 120) in TiO<sub>2</sub>/UV System: Optimization and Modeling Using a Response Surface Methodology (RSM) Based on the Central Composite Design." *Dyes and Pigments* 75(3): 533–43.
- Dehghani, Mohammad Hadi, Maryam Faraji, Amir Mohammadi, and Hossein Kamani. 2017. "Optimization of Fluoride Adsorption onto Natural and Modified Pumice Using Response Surface Methodology: Isotherm, Kinetic and Thermodynamic Studies." *Korean Journal of Chemical Engineering* 34(2): 454–62. <http://link.springer.com/10.1007/s11814-016-0274-4> (November 20, 2018).
- Genç, Rükan, Gael Clergeaud, Mayreli Ortiz, and Ciara K. O'sullivan. 2011. "Green Synthesis of Gold Nanoparticles Using Glycerol-Incorporated Nanosized Liposomes." *Langmuir* 27(17): 10894–900.
- Güngör, Ahmet, Rükan Genç, and Tonguç Özdemir. 2017. "Facile Synthesis of Semiconducting Nanosized 0D and 2D Lead Oxides Using a Modified Co-Precipitation Method." *Journal of Turkish Chemical Society Part A: Chemistry* 4(3): 1017–30.
- Jyoti, Mayekar, Dhar Vijay, and Srinivasan Radha. 2013. "To Study the Role of Temperature and Sodium Hydroxide Concentration in the Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles." *International Journal of*

- Scientific and Research Publications* 3(11): 2250–3153. [www.ijsrp.org](http://www.ijsrp.org).
- Karami, Hasan et al. 2008. "Synthesis of Lead Oxide Nanoparticles by Sonochemical Method and Its Application as Cathode and Anode of Lead-Acid Batteries." *Materials Chemistry and Physics* 108(2–3): 337–44. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254058407006128#bib22> (June 11, 2018).
- Karami, Hassan, Mohammad Ali Karimi, and Saeed Haghdar. 2008. "Synthesis of Uniform Nano-Structured Lead Oxide by Sonochemical Method and Its Application as Cathode and Anode of Lead-Acid Batteries." *Materials Research Bulletin* 43(11): 3054–65.
- Körbahti, Bahadır K., and Selin Taşyürek. 2015. "Electrochemical Oxidation of Ampicillin Antibiotic at Boron-Doped Diamond Electrodes and Process Optimization Using Response Surface Methodology." *Environmental Science and Pollution Research* 22(5): 3265–78. <http://link.springer.com/10.1007/s11356-014-3101-7>.
- Li, Yuhan, Qi Qiang, Xingwang Zheng, and Zenglin Wang. 2015. "Controllable Electrochemical Synthesis of Ag Nanoparticles in Ionic Liquid Microemulsions." *Electrochemistry Communications* 58: 41–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.elecom.2015.05.020>.
- Raissi, S, and R-Eslami Farsani. 2009. "Statistical Process Optimization through Multi-Response Surface Methodology." *World Academy of Science, Engineering and Technology* 51(46): 267–71.
- Ranjbar, Zohreh Rashidi, and Ali Morsali. 2009. "Sonochemical Syntheses of a New Nano-Sized Porous Lead(II) Coordination Polymer as Precursor for Preparation of Lead(II) Oxide Nanoparticles." *Journal of Molecular Structure* 936(1–3): 206–12. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022286009004992> (June 11, 2018).
- Sun, Lei, Shungang Wan, Zebin Yu, and Lijun Wang. 2014. "Optimization and Modeling of Preparation Conditions of TiO<sub>2</sub>nanoparticles Coated on Hollow Glass Microspheres Using Response Surface Methodology." *Separation and Purification Technology* 125: 156–62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2014.01.042>.
- Vaidyanathan, Ramanathan et al. 2010. "Enhanced Silver Nanoparticle Synthesis by Optimization of Nitrate Reductase Activity." *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 75(1): 335–41.
- Wang, Yu, and Jianxin Zhu. 2012. "Preparation of Lead Oxide Nanoparticles from Cathode-Ray Tube Funnel Glass by Self-Propagating Method." *Journal of Hazardous Materials* 215–216: 90–97. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389412001987> (June 11, 2018).
- Weng, Ling et al. 2014. "Facile Fabrication and Properties of Core-Shell Structure Ag@Al<sub>2</sub>(SiO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>nanocomposites with Controllable Morphologies." *Materials Letters* 126: 240–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2014.03.182>.
- Wilkinson, Tommy J. et al. 2001. "A Facile Wet Synthesis of Nanoparticles of Litharge, the Tetragonal Form of PbO." *MRS Proceedings* 704(Ii): 1–5.
- Xing, Yan et al. 2015. "Controllable Synthesis and Characterization of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Au Composite Nanoparticles." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 380(1): 150–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2014.09.060>.
- Yaghmaeian, Kamyar, Susana Silva Martinez, Mohammad Hoseini, and Hoda Amiri. 2016. "Optimization of As(III) Removal in Hard Water by Electrocoagulation Using Central Composite Design with Response Surface Methodology." *Desalination and Water Treatment*: 1–7. <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19443994.2016.1177735> (November 20, 2018).

## İKİ AMAÇLI FARKLI MAKİNE SEÇENEKLİ KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ OPTİMİZASYONU: BULANIK ÇÖZÜM TEKNİĞİ UYGULAMASI

<sup>1</sup>Batuhan Eren ENGİN, <sup>2</sup>Turan PAKSOY

<sup>1,2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,  
Konya, Türkiye

<sup>1</sup>erengn@gmail.com, <sup>2</sup>tpaksoy@yahoo.com

(Geliş/Received: 12.11.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 18.12.2018)

**ÖZ:** Tedarik zinciri yönetimi, küreselleşme çağının başlangıcından beri akademisyenlerin ve uygulayıcıların artan ilgisini çekmeye devam etmiştir. Son yıllarda, tedarik zinciri yönetiminin odak noktası, enerji tüketimi, karbon emisyonları gibi ekonomik, sosyal ve çevresel yönlerin ortaklaşa ele alındığı sürdürülebilir akış yönetimi olmaya başlamıştır. Bu çalışmada, çok dönemli kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı probleminin optimizasyonu için iki amaçlı karmaşık tamsayılı doğrusal programlama modelinin formüle edilmesi ve çözülmesi gerçekleştirilmiştir. Model, farklı makine tiplerinde faaliyet gösteren tesislerin toplam operasyon maliyeti ve toplam karbon emisyonları olmak üzere iki ayrı amacın minimizasyonunu hedeflerken, üretim ve dağıtım stratejilerini belirlemede ve yeni veya eski tip makinelerin kullanımına da karar vermektedir. Daha eski ve güncel olmayan makinelerin ilk satın alma maliyeti, yeni ve güncellenmiş makinelere göre daha düşük olmasına rağmen, eski makineler, saat başına daha yüksek maliyetle çalışırken yeni makinelere göre saat başına daha fazla karbon salmaktadır. Ayrıca, bir saat içinde üretilen ürünlerin sayısı, yani üretkenlik, yeni makinelerde daha üstündür. Bu iki amaçlı kapalı döngü tedarik zinciri modelinin çözümü için bulanık ağırlıklandırma yaklaşımı kullanılmıştır. Sonuçlar, üretimde yeni nesil teknolojilere yatırım yapılmasının hem ekonomik hem de çevresel amaçlara ulaşmak için önemli olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çok Amaçlı Optimizasyon, Kapalı Döngü Tedarik Zincirleri, Karbon Emisyonları, Yeşil Tedarik Zinciri.

### A Bi-objective Closed Loop Supply Chain with Different Machinery Options: Application of Fuzzy Weighted Additive Approach

**ABSTRACT:** Supply chain management is an emerging area that drawing increasing attention of academics and practitioners for decades. In recent years, SCM's focal point has begun to emerge as a sustainable flow management, in which economic, social and environmental aspects such as energy consumption, carbon emissions are jointly addressed. This study focused on formulating and solving a bi-objective multi-period closed loop supply chain network design problem. The model determines the production and distribution strategies, while minimizing two objectives simultaneously; the total supply chain cost and the carbon emissions generated by plants operating through different machinery types. While the initial purchase cost of older and more outdated machinery is lower than newer ones, older machinery emits greater amount of carbon per hour as opposed to newer machinery while operating at even greater cost per hour. Besides, the number of products produced in an hour is also higher in newer machinery. We adopted a fuzzy weighted additive approach to solve the bi-objective optimization model. The results confirm that investing in newer technologies in manufacturing comes with great result for both economic and environmental causes, reducing the unit cost and carbon emission per product throughout the manufacturing periods.

**Keywords:** *Carbon Emissions, Closed Loop Supply Chains, Green Supply Chain, Multi-Objective Optimization.*

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Rekabetçi piyasada şirketler arasında maliyet, fiyat, kalite ve verimlilik açısından zorlu bir rekabet vardır. Böyle bir rekabette avantaj elde etmenin bir yolu da, sunulan ürünlerin kalitesine zarar vermeden imalat ve tedarik zincirinden kaynaklanan çeşitli maliyetleri azaltmaktır (de Groot ve diğ., 2001; Iida, 2012). Bu bağlamda, başta yüksek satın alma maliyeti olmasına rağmen, yüksek verimli, düşük enerji harcayan yeni nesil teknolojilere yatırım yapmak şirketler açısından, hem de çevresel etkileri için önemlidir (Fahimnia ve diğ., 2015; Jaffe ve diğ., 2005). Elbette yeni teknolojiye yatırım yapma kararı da şirketin talep tahminlerine, planlama ufkuna, pazarlama gücüne de bağlı olacaktır. Çevresel performansla ilgilenen şirketler, kısa vadede çevre yönetimi maliyetlerine katlanacak olmasına rağmen uzun dönemde daha fazla kar üretecek ve bu da onların küresel piyasada uzun vadede hayatta kalmasına yardımcı olacaktır (Teng ve diğ., 2014).

Şirketler, bir yandan rekabette bir adım önde olmak için maliyetleri düşürmeye çalışırken, bir yandan da üretimden ve dağıtımdan kaynaklanan çevresel ayak izini bu amaca yönelik çıkarılmış uluslararası mevzuat ve yönetmelikler sebebiyle azaltmak durumundadırlar (Jaffe ve diğ., 2005). Bu nedenle şirketler, genellikle çelişen operasyonel maliyet ve çevresel ayak izi (karbon salınım miktarı, harcanan enerji miktarı, toplam atık miktarı vb.) arasındaki dengeyi bulmayı amaçlamaktadırlar.

Ancak, çevresel etki faktörü yüksek üreticilerin yeni teknolojilere yatırım yapmayı tercih etmesi veya yeni teknolojilerin geliştirilmesi/yayılması, karbon vergisi/ticareti gibi çevresel politikalara bağlıdır. Kanun geliştiriciler, hükümetler karbon emisyonlarını azaltacak yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması için kaynak kullanımına yönelik teşvik vermeye, emisyonu direkt olarak azaltacak ancak ekstra ekonomik yüklenmelere sebebiyet verecek yöntemlere nazaran daha isteklidirler, bunun da sebebi ise çoğu ülkede politik çoğunluğun yeni teknolojilere yatırım yapılmasını daha çok desteklemesidir. Ayrıca hükümetler bir takım teşviklerle, üreticilere kaynak sağlayan tedarikçilerin emisyon azaltan teknolojilere ilişkin araştırma yapmalarının önünü açmak isteyebilirler. Örneğin Malezya hükümeti, üretim firmalarının yeşil teknolojiye yeterli yatırım yapmasını ve yeni alternatif enerji kaynakları üretmesini sağlamak, yeni yeşil makine ve teknolojinin satın alınmasını finanse etmek için devlet destekli kredide indirimle beraber ile yeşil teknoloji finansman planını uygulamaya koymuştur (Fernando ve Wah, 2017). Ancak, hükümetler tarafından takip edilen politikaların gerçekten faydalı olup olmadığının değerlendirilmesi, böylesi araştırmaların çıktılarının uzun sürelerde ortaya çıkmalarından dolayı zorlayıcıdır (Jaffe ve diğ., 2005). Bu bağlamda ortaya çıkan karbon emisyonu ve maliyet ödünleşmesi durumunu inceleyen araştırmalar önem kazanmıştır.

Çok amaçlı optimizasyon ise literatürde giderek daha fazla görülmeye başlamıştır. Çok amaçlı problemlerin literatürde farklı farklı çözüm teknikleri vardır. Örneğin, amaç fonksiyonları aynı cinsten ifade edilerek, mesela para cinsinden, çoklu amaç tek bir amaca indirgenebilir (Fahimnia ve diğ., 2015). Yazarlar, çalışmalarında karbon emisyonları, enerji tüketimi ve atık üretimi de dahil olmak üzere, maliyet ve çevresel bozulma arasındaki ilişkiyi ele alan bir tedarik zinciri modeli için karma-tamsayılı doğrusal olmayan matematiksel model önermişlerdir ve önerilen matematiksel modelin tüm amaçları, eşdeğer dolar cinsinden ifade edilerek, çok amaçlı model tek bir ağırlıklı toplam amaçlı optimizasyon problemine çevrilerek çözümü gerçekleştirilmiştir. Bazı amaç fonksiyonlarının modele kısıt olarak eklenmesi temeline dayanan  $\epsilon$ -kısıtlama yöntemini bunlardan birisidir (Banasik ve diğ., 2017; Soleimani ve diğ., 2017; Talaei ve diğ., 2016). Pareto cephesini bularak, domine edilmemiş çözüm kümesini bulan çeşitli evrimsel algoritmalar ile de çok amaçlı problemlere çözüm üretilebilmektedir (Altıparmak ve diğ., 2006; Chan ve diğ., 2016; Sadeghi Rad ve Nahavandi, 2018; Wang ve diğ., 2011). Bu çalışmada da kullanılan, Tiwari ve diğ. (1987) tarafından geliştirilen bulanık ağırlıklı çözüm yöntemi de literatürde kullanılan yöntemlerden birisidir (Amid ve diğ., 2009; Arıkan, 2013; Kavitha, 2013; Mehlatat ve Kumar, 2017; Pan ve diğ., 2015; Seifbarghy ve diğ., 2011; Shaw ve diğ., 2012). Bu çalışmanın literatüre katkısı ise, bu metodun geliştirilen çok amaçlı, farklı makine merkez seçeneklerinin olduğu bir modelde, yeni makine yatırımları planlayan yöneticilere yol göstermek için uygulanmış olmasıdır.

## İKİ AMAÇLI FARKLI MAKİNE SEÇENEKLİ KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ (BI-OBJECTIVE CLOSED LOOP SUPPLY CHAIN WITH DIFFERENT MACHINERY OPTION)

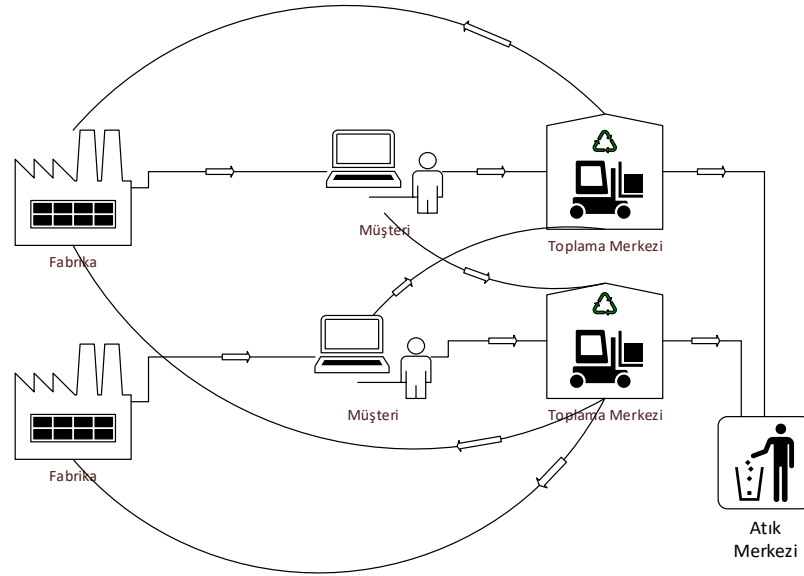
Bu çalışmada, fabrikalar, müşteriler, toplama merkezleri içeren 3-aşamalı yeşil bir tedarik zinciri tasarlanmıştır ve 2 düğüm arasında her periyottaki optimal taşıma miktarlarını bulmayı amaçlayan bir matematiksel model oluşturulmuştur. Fabrikalar, farklı parametrelere sahip yeni ve eski tip olmak üzere 2 farklı makine merkezlerinden birini seçip, üretimi gerçekleştirebilir. Daha eski ve güncel olmayan makinelerin ilk satın alma maliyeti, yeni ve güncellenmiş makinelerle göre daha düşük olmasına rağmen, eski makineler, saat başına daha yüksek maliyetle çalışırken yeni makinelerle göre saat başına daha fazla karbon salmaktadır (Çizelge 1). Ayrıca, bir saat içinde üretilen ürünlerin sayısı, yani üretkenlik, yeni makinelerde daha üstündür. Model, hangi fabrikaların, depoların ve toplama merkezlerinin açılacağını, hangi fabrikalarda hangi tip makinelerin kullanılacağına da karar vermektedir. Modelde, tedarik zincirinin toplam maliyeti ve toplam karbon emisyonları olmak üzere iki ayrı amacın minimizasyonu hedeflenmiştir.

**Çizelge 1.** Yeni ve eski makine merkezlerinin parametre karşılaştırması

*Table 1. Parameter comparison of older and newer machine environment*

	Başlangıç satın alma maliyeti	Saatlik üretim maliyeti	Saatlik emisyon miktarı	Saatte üretilen ürün miktarı
Eski makine merkezi	Düşük	Yüksek	Yüksek	Düşük
Yeni makine merkezi	Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek

Tedarik zincirinin genel şeması ise Şekil 1’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Tedarik zinciri şeması

**Figure 1.** Supply chain scheme

Önerilen modelin geliştirilmesinde aşağıdaki varsayımlar kullanılmıştır:

1. Müşterilerin talepleri, planlama öncesinde bilinmektedir.

2. Çoklu-dönem olarak tasarlanan model, birden fazla fabrika, müşteri ve toplama merkezlerinden oluşmaktadır.
3. Tesislerin, müşterilerin ve toplama merkezlerinin yerleri sabittir.
4. Üreticilerin kurabileceği makine merkezlerinin üretim kapasiteleri bilinmektedir ve sınırlıdır.
5. Her dönem için müşterilerin talepleri karşılanmalıdır.

Bu modelde kullanılan kümeler ve indeksler aşağıdaki gibidir:

I	Fabrika kümesi, $i$ ile endeksli
G	Makine merkezi kümesi, $g$ ile endeksli
J	Müşteri kümesi, $j$ ile endeksli
T	Zaman periyodu kümesi, $t$ ile endeksli
M	Toplama merkezi kümesi, $m$ ile endeksli

### Değişkenler

$X_{igt}$	:i fabrikasında yeni makine merkezi kullanılarak $t$ döneminde üretilen ürün miktarı
$Y_{ijt}$	:i fabrikasından müşteri $j$ 'ye $t$ döneminde gönderilen ürün miktarı
$Z_{jmt}$	:Müşteri $j$ den toplama merkezi $m$ tarafından $t$ döneminde geri kazanılan ürün miktarı
$K_{mit}$	:Toplama merkezi $m$ 'den fabrika $i$ 'te $t$ döneminde gönderilen ürün miktarı
$O_{ig}$	:i fabrikasında $g$ makine merkezi kullanılırsa 1, diğer durumda 0 ( $g=1$ iken eski, 2 iken yeni makine merkezi)

### Parametreler

$unitp_g$	:makine merkezi $g$ 'nin saatlik çalışma maliyeti
$dem_{jt}$	:müşteri $j$ 'nin $t$ dönemindeki talebi
$dis_{ij}$	:fabrika $i$ ile müşteri $j$ arasındaki mesafe
$dis_{jm}$	:müşteri $j$ ile toplama merkezi $m$ arasındaki mesafe
$dism_{mi}$	:toplama merkezi $m$ ile fabrika $i$ arasındaki mesafe
$c$	:birim ürün taşıma maliyeti
$rc$	:bir ürünün geri kazanım maliyeti
$fixedpurch_g$	:makine merkezi $g$ 'nin sabit satın alma maliyeti
$carbon_g$	:makine merkezi $g$ 'nin saatte ürettiği karbon emisyon miktarı
$pph_g$	:makine merkezi $g$ 'nin saatte ürettiği ürün miktarı
$n_g$	:bir periyotta makine merkezi $g$ 'nin üretim kapasitesi
$\alpha$	:geri kazanım oranı



$$\text{Min } Z_1 = \sum_{igt} \frac{X_{igt}}{pph_g} * \text{unitp}_g + \sum_{ijt} Y_{ijt} * c * \text{disij}_{ij} + \sum_{jmt} Z_{jmt} * (c + rc) * \text{disj}_{jm} + \sum_{mit} K_{mit} * c * \text{dismi}_{mi} + \sum_{ig} O_{ig} * \text{fixedpurch}_g \quad (1)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{igt} \frac{X_{igt}}{pph_g} * \text{carbon}_g \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$X_{igt} \leq 24 * pph_g * O_{ig}, \quad \forall i, g, t \quad (3)$$

$$\sum_g O_{ig} \leq 1, \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_g X_{igt} + \sum_m K_{mit} = \sum_j Y_{ijt}, \quad \forall i, t \quad (5)$$

$$\sum_i Y_{ijt} \geq \text{dem}_{jt}, \quad \forall j, t \quad (6)$$

$$\sum_i Y_{ijt} * \alpha = \sum_m Z_{jm(t+1)}, \quad \forall t, j \{t \neq T\} \quad (7)$$

$$\sum_j Z_{jmt} = \sum_i K_{mit}, \quad \forall m, t \quad (8)$$

$$\sum_m K_{mit} \leq \sum_g n_g * O_{ig}, \quad \forall i, t \quad (9)$$

$$X_{igt}, Y_{ijt}, Z_{jmt}, K_{mit} \geq 0, \quad \forall i, w, k, j, t \quad (10)$$

$$O_{ig} \in \{0,1\}, \quad \forall i, w, k, j, t \quad (11)$$

Denklem (1), toplam üretim, dağıtım, geri kazanım ile ilgili tüm maliyetleri içeren amaç fonksiyonudur. Denklem (2) ise toplam üretimden kaynaklanan ve makinelerin farklı karbon emisyonlarına dayanan amaç fonksiyonudur. Burada Denklem (1) ile Denklem (2)'nin arasında bir ödünüm olacağı beklenmektedir. Denklem (3), her bir fabrikada kullanılan makine merkezinde, t döneminde yapılan işlem saati, makine merkezinin bir dönemdeki üretim kapasitesini geçmemesini sağlayan ve aynı zamanda, fabrikada g makine merkezinin kurulmaması durumunda ise üretim yapılmamasını sağlayan kısıt kümesini ifade eder. Denklem (4), bir fabrikada ya yeni, ya da eski tip makine merkezinin, veya başka bir ifadeyle, tek bir makine merkezi tipinin kurulmasını sağlayan kısıtlar kümesidir. Denklem (5), her fabrikanın akış denge kısıt kümesini içeren denklemdir. Denklem (6), her müşterinin her dönemdeki taleplerinin karşılanmasını sağlayan kısıt kümesidir. Denklem (7), müşterilere gelen ürün miktarıyla toplama merkezleri tarafından toplanan ürün miktarı arasındaki dengeyi kuran denklem setidir. Denklem (8), her bir toplama merkezi için gelen ve giden ürün akışının dengesini kuran kısıt kümesidir. Denklem (9), açılmamış fabrikalara geri kazanılmış ürünlerin gönderilmesini engelleyen denklem kümesidir. Denklem (10)-(11) ise işaret kısıtlarını ifade etmektedir.

## METODOLOJİ: BULANIK AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMİ (METHODOLOGY: FUZZY WEIGHTED ADDITIVE APPROACH)

Tiwari ve diğ. (1987) tarafından geliştirilen bulanık ağırlıklandırma yaklaşımı, çok amaçlı optimizasyon fonksiyonuna sahip modelleri çözmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu metod, çok amaçlı amaç fonksiyonunu, her bir fonksiyon için hesaplanan bir üyelik fonksiyonu kullanarak, tek amaca indirger. Ağırlıklar  $(\rho_1, \rho_2)$  karar verici tarafından üç amaç fonksiyonunun ağırlığını yansıtacak şekilde atanır. Bir maksimizasyon problemi için temel ağırlıklı modeli şu şekilde kurulur:

$$\text{Maks } V(\mu) = \sum_{i=1}^m \rho_i \mu_i \quad (12)$$

### Kısıtlar:

$$\mu_i = \frac{G_i(X) - L_i}{g_i - L_i} \quad (13)$$

$$AX \leq b \quad (14)$$

$$\mu_i \leq 1 \quad (15)$$

$$X, \mu_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

$X$   $x_1, x_2, \dots, x_n$ 'lerden oluşan bir  $n$  boyutlu vektör ve  $AX \leq b$  ise vektör formatında modelin kısıtlarıdır. Zimmermann (1978)'a göre doğrusal üyelik fonksiyonu,  $\mu_i$  i. bulanık amaç için,  $G_i(X) \geq g_i$  şu şekilde tanımlanabilir:

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & \text{eğer } G_i(X) \geq g_i \\ \frac{G_i(X) - L_i}{g_i - L_i} & \text{eğer } L_i \leq G_i(X) \leq g_i \\ 0 & \text{eğer } G_i(X) \leq L_i \end{cases} \quad (17)$$

Burada  $L_i$ , bulanık amaç  $G_i(X)$  için alt sınırdır. Amacın  $G_i(X) \leq g_i$  şeklinde olması durumunda ise üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & \text{eğer } G_i(X) \leq g_i \\ \frac{U_i - G_i(X)}{U_i - g_i} & \text{eğer } g_i \leq G_i(X) \leq U_i \\ 0 & \text{eğer } G_i(X) \geq U_i \end{cases} \quad (18)$$

Burada  $U_i$  ise, üst tolerans limitidir. Amaç fonksiyonunda ise  $V(\mu)$  terimi, bulanık edinim fonksiyonudur. Bu, temel optimizasyon teknikleriyle çözülebilen tek amaçlı bir optimizasyon problemidir.

### ÖRNEK VAKA ANALİZİ (CASE STUDY)

Bu bölümde, geliştirilen matematiksel model ve çözüm yöntemi sayısal bir örnek ile denenmiştir. Geliştirilen tedarik ağında, açılacak fabrikalar ve toplama merkezleri, ayrıca fabrikalarda kullanılacak makine merkezleri de belirlenecek ve gerekli dağıtım planı ortaya çıkarılacaktır.

Açılabilir 10 farklı fabrika lokasyonunun, 2 farklı parametrelere sahip yeni/eski makine tipinin, 3 toplama merkezinin belirlendiği, 50 farklı müşteriye 10 zaman periyodu için ürün gönderilmesi gereken bir problemde, tedarik zincirindeki toplam maliyet ( $Z_1$ ), ve tedarik zincirindeki toplam karbon salınım miktarı ( $Z_2$ ) aynı anda minimize edilmek istenmiştir, bu amaçlara ait ağırlıklar ise ağırlık vektörü  $[0.75 \ 0.25]^T$  olarak belirlenmiştir. Bu ağırlıklar, bulanık doğrusal programlamanın her bir üyelik fonksiyonu ile çarpılır. Bir sonraki adım, üyelik fonksiyonlarını, yani  $\mu_i$  değişkenlerini hesaplamaktır. Üyelik fonksiyonlarını hesaplamak için ilk adım, bir seferde tek bir hedefi optimize edecek şekilde modeli, her bir amaç fonksiyonu adedince çalıştırmaktır.

İlk hedefin üst ve alt sınır optimal değerleri, hedef alınan amaç fonksiyonunun sırasıyla maksimizasyonu ve minimizasyonu şeklinde elde edilir. Süreç kalan diğer hedef için bir kez daha tekrarlanır. Her bir hedef için alt sınır ve üst sınır aynı kısıtlar kümesi kullanılarak hesaplanır. Bulanık formülasyon Tiwari ve diğ. (1987) tarafından geliştirilen tarafından önerilen ağırlıklı edinim modeli kullanılarak yapılır. Çizelge 2, her bir amaç için bulunan üst ve alt sınırları içermektedir.

**Çizelge 2.** Üst ve alt sınırlar

*Table 2. Upper and lower bounds*

Amaç Fonk.	Maks	Min
$Z_1$	42109709	4835858
$Z_2$	240000	10230

Üyelik işlevlerinin doğrusal olduğunu varsayarak, üyelik fonksiyonları Denklem (18) kullanılarak şu şekilde hesaplanır:

$$\mu_1 = \begin{cases} 1 & \text{eğer } Z_1 \leq 4835858 \\ \frac{42109709 - Z_1}{42109709 - 4835858} & \text{eğer } 4835858 \leq Z_1 \leq 42109709 \\ 0 & \text{eğer } Z_1 \geq 42109709 \end{cases} \quad (19)$$

$$\mu_2 = \begin{cases} 1 & \text{eğer } Z_2 \leq 10230 \\ \frac{240000 - Z_2}{240000 - 10230} & \text{eğer } 10230 \leq Z_2 \leq 240000 \\ 0 & \text{eğer } Z_2 \geq 240000 \end{cases} \quad (20)$$

Bu üyelik fonksiyonlarını kullanarak, farklı makine seçenekli kapalı döngü tedarik zinciri için yeni matematiksel formülasyon aşağıdaki gibidir:

$$\text{Maks } Z = 0.75 * \mu_1 + 0.25 * \mu_2 \quad (21)$$

#### Kısıtlar:

$$\mu_1 \leq \frac{42109709 - Z_1}{42109709 - 4835858} \quad (22)$$

$$\mu_2 \leq \frac{240000 - Z_2}{240000 - 10230} \quad (23)$$

ve kısıtlar (3-11) dahil edilerek model tamamlanır.

Yukarıda detaylandırılan matematiksel model, C# dilinde Visual Studio ortamında ILOG'in CPLEX Concert Technology kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulanık matematiksel modelin optimal çözümü aşağıdaki Çizelge 3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.** Optimal çözüm

*Table 3. Optimal solution*

Amaç Fonk. ve değişkenler	Aldıkları değer
$Z_1$ [4835858,42109709]	4996006 Türk Lirası
$Z_2$ [10230,240000]	10230 birim ürün
$\mu_1$	0,996
$\mu_2$	1

Bu metotla birlikte,  $Z_1$ , minimum değerine yakın bir değer alırken  $Z_2$  minimum değerini alabilmiştir. Şirket, planlama ufku boyunca gerçekleşecek talepler için 8. ve 10. fabrikalarda yeni tip makine kullanarak üretimi gerçekleştirmiştir.

Modelin ve çözüm yönteminin farklı parametre boyutlarında da denemek faydalı olacaktır (Çizelge 4). Bu sebeple, aşağıdaki parametrelerin kombinasyonları için model optimize edilmiş ve bulunan sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir.

**Çizelge 4.** Örnek problem seti için parametreler ve değerleri

*Table 4. Parameters and their values for the sample problems*

Parametre	Aldıkları Değer
Makine tipi	Eski, orta yaşta, yeni makine merkezi (3)
Fabrika	10
Müşteri	50;100;200
Zaman periyodu	10;20

Buradaki problemlerin çözümünde amaç fonksiyonları için üyelik fonksiyonları hesaplanırken gerekli olan alt sınır-üst sınır değerleri, Çizelge 5'deki min  $Z_1$  ve min  $Z_2$  sütunlarındaki değerler olarak da alınabilir. Modelin ayrıca farklı müşteri talep senaryolarında da verdiği sonuçlar irdelenmiştir. Temel modelde 10 fabrika lokasyonu, 3 farklı makine, 50 müşteri bulunmaktadır (Çizelge 6).

Çizelge 5. Problem örnekleri için bulunan optimal çözümler

Table 5. Optimal solutions for the problem sets

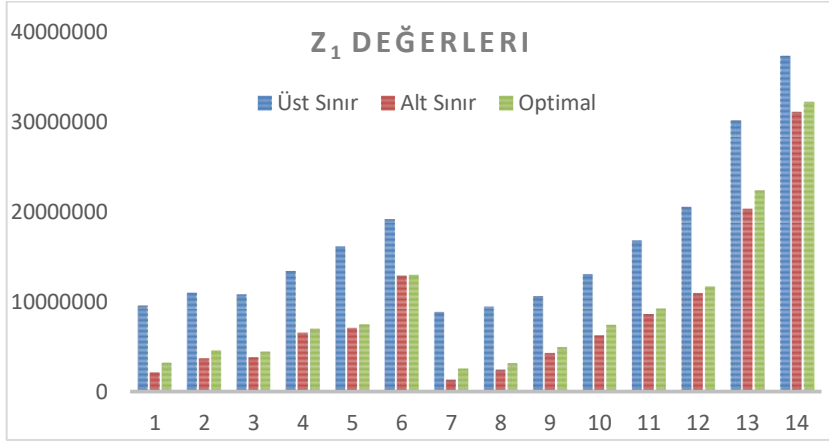
	Min $Z_1$	Min $Z_2$	Bulanık Çözüm Y.	Optimal Z Değerleri
Fabrika=10 Müşteri=50 Zaman periyodu=10	$Z_1=2134041$ $Z_2=6820$	$Z_1=9543368$ $Z_2=1705$	$\mu_1 = 0,853$ $\mu_2 = 1$	$Z_1=3223212$ $Z_2=1705$
Fabrika=10 Müşteri=50 Zaman periyodu=20	$Z_1=3665436$ $Z_2=13165$	$Z_1=10971830$ $Z_2=3291$	$\mu_1 = 0,878$ $\mu_2 = 1$	$Z_1=4556816$ $Z_2=3291$
Fabrika=10 Müşteri=100 Zaman periyodu=10	$Z_1=3820273$ $Z_2=8266$	$Z_1=10791940$ $Z_2=3444$	$\mu_1 = 0,912$ $\mu_2 = 1$	$Z_1=4433780$ $Z_2=3444$
Fabrika=10 Müşteri=200 Zaman periyodu=10	$Z_1=6555044$ $Z_2=15845$	$Z_1=13445570$ $Z_2=6602$	$\mu_1 = 0,933$ $\mu_2 = 1$	$Z_1=7016709$ $Z_2=6602$
Fabrika=10 Müşteri=100 Zaman periyodu=20	$Z_1=7066142$ $Z_2=17283$	$Z_1=16149890$ $Z_2=6911$	$\mu_1 = 0,956$ $\mu_2 = 1$	$Z_1=7465827$ $Z_2=6911$
Fabrika=10 Müşteri=200 Zaman periyodu=20	$Z_1=12875410$ $Z_2=13395$	$Z_1=19159260$ $Z_2=13395$	$\mu_1 = 0,983$ $\mu_2 = 1$	$Z_1=12982235$ $Z_2=13395$

Çizelge 6. Problem örnekleri için bulunan optimal çözümler

Table 6. Optimal solutions for the problem sets

Talep Fonk.	Min $Z_1$	Min $Z_2$	Bulanık Çözüm	Optimal Z Değerleri
uniform(20,50)	$Z_1=1334750$ $Z_2=3420$	$Z_1=8835640$ $Z_2=855$	$\mu_1=0,835$ $\mu_2=0,974$	$Z_1=2572397$ $Z_2=921$
uniform(50,100)	$Z_1=2406920$ $Z_2=4401$	$Z_1=9441475$ $Z_2=1833$	$\mu_1=0,896$ $\mu_2=1$	$Z_1=3138514$ $Z_2=1833$
uniform(100,200)	$Z_1=4298965$ $Z_2=9489$	$Z_1=10611630$ $Z_2=3796$	$\mu_1=0,896$ $\mu_2=1$	$Z_1=4955482$ $Z_2=3796$
uniform(150,300)	$Z_1=6208893$ $Z_2=15506$	$Z_1=13053850$ $Z_2=5476$	$\mu_1=0,826$ $\mu_2=1$	$Z_1=7399916$ $Z_2=5476$
uniform(200,400)	$Z_1=8626236$ $Z_2=11512$	$Z_1=16818930$ $Z_2=7299$	$\mu_1=0,923$ $\mu_2=0,937$	$Z_1=9257073$ $Z_2=7564$
uniform(250,500)	$Z_1=10899530$ $Z_2=15261$	$Z_1=20551950$ $Z_2=9119$	$\mu_1=0,917$ $\mu_2=1$	$Z_1=11700681$ $Z_2=9119$
uniform(500,1000)	$Z_1=20336270$ $Z_2=36909$	$Z_1=30179610$ $Z_2=18227$	$\mu_1=0,792$ $\mu_2=0,984$	$Z_1=22383685$ $Z_2=18525$
uniform(750,1500)	$Z_1=31056470$ $Z_2=33689$	$Z_1=37345960$ $Z_2=27334$	$\mu_1=0,808$ $\mu_2=1$	$Z_1=32264052$ $Z_2=27334$

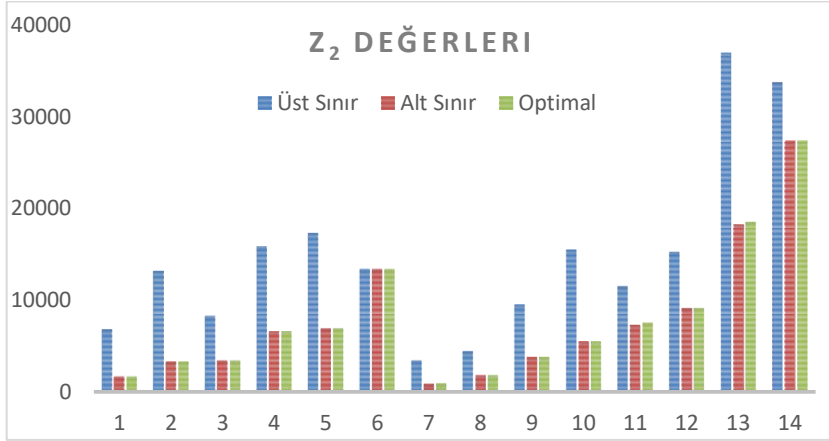
Çizelge 5 ve 6'dan da görüleceği üzere bulanık çözüm sonuçları, üretimden kaynaklı toplam karbon miktarının minimizasyonunu bir örnek dışında optimal bir şekilde gerçekleştirmiştir. Küçük boyutlu problemlerde toplam maliyetin minimizasyonu, büyük boyutlu problemlere göre daha düşük çıktığı görülmektedir. Bunun sebebi ise, problem boyutu büyüdükçe talebin karşılanabilmesi için kurulan fabrika sayısının artması ve üretimin de yeni tip makine alanlarında gerçekleştirilmek zorunda olmasıdır, yani makineler arasında seçim yaparak hedefler arasında ödünleşme imkanı da azalmaktadır.



Şekil 2. Z1 için Üst Sınır, Alt sınır Değerleri ve Optimal sonuçlar

Figure 2. Upper, Lower bounds and Optimal values for Z1

Şekil 2 ve Şekil 3'den de görüleceği üzere 2 amaç fonksiyonunun optimal değerleri, alt sınırlarına oldukça yakın olarak bulunmuştur. Bu da uygulanan bulanık ağırlıklandırma yönteminin başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.



Şekil 3. Z2 için Üst Sınır, Alt sınır Değerleri ve Optimal sonuçlar

Figure 3. Upper, Lower bounds and Optimal values for Z2

Ayrıca model, üretimde planlama ufku uzadıkça veya toplam talebin arttığı senaryolarda yeni nesil makinelerde üretimin yapılmasına karar vermiştir, çünkü baştaki yüksek satın alma maliyetinin kompanse edilmesi kolaylaşmakta ve böylece de daha az karbon salınımına sebebiyet verilmektedir.

## SONUÇ (CONCLUSION)

Pratik açıdan bakıldığında işletmelerin tek bir tedarik zinciri hedefi altında çalıştığını söyleyemeyiz, daha çok farklı ve birbirleriyle çelişen ekonomik, çevresel, organizasyonel ve operasyonel hedeflere aynı anda ulaşmak istemektedirler. Çok amaçlı problemlerin çıkış noktası da birden çok amacın aynı anda optimize edilmesi gereksinimidir.

Bu çalışmada, çok dönemli kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarım probleminin optimizasyonu için bir çok amaçlı karmaşık tamsayı doğrusal programlama modeli formüle edilmiştir. Model, farklı makine tiplerinde faaliyet gösteren tesislerin toplam operasyon maliyeti ve toplam karbon emisyonları olmak üzere iki ayrı amacın minimizasyonunu hedeflerken, üretim ve dağıtım stratejilerini belirlemekte ve kullanılacak makine tiplerine de karar vermektedir. Bu iki amaçlı kapalı döngü tedarik zinciri modelinin çözümü için Tiwari ve diğ. (1987) tarafından geliştirilen bulanık ağırlıklandırma yaklaşımı kullanılmıştır. Sonuçlar, üretimde planlama ufku uzadıkça ve/veya toplam talebin arttığı senaryolarda, yüksek verimli, düşük enerji harcayan yeni nesil makine alımına yönlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır, çünkü planlama ufku uzadıkça veya toplam talebin daha yüksek olduğu senaryolarda ile baştaki yüksek satın alma maliyeti rahatlıkla kompanse edilebilmekte, başabaş noktasına daha çabuk ulaşılabilen ve böylece de daha az karbon salınımına sebebiyet verilmektedir.

Gelecekte, çok amaçlı tedarik zinciri problemleri için farklı çözüm yöntemleri geliştirilebilir ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılabilir. Makinelerin yıllanmasına bağlı olarak parametre değerlerinin, örneğin işletim maliyeti, emisyon oranları, ürün kalitesinin değişkenlik göstermesi, verimliliğin zamanla periyodu boyunca düşmesi, ürünlerin geri kazanım oranının makinelerin yeni/eski olmasına bağlı olarak değişmesi gibi seçenekler düşünülebilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., Paksoy, T., 2006, "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks", *Computers & Industrial Engineering*, 51(1), 196-215. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2006.07.011>
- Amid, A., Ghodsypour, S. H., O'Brien, C., 2009, "A weighted additive fuzzy multiobjective model for the supplier selection problem under price breaks in a supply Chain", *International Journal of Production Economics*, 121(2), 323-332. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.02.040>
- Arikan, F., 2013, "A fuzzy solution approach for multi objective supplier selection", *Expert Systems with Applications*, 40(3), 947-952. doi:10.1016/j.eswa.2012.05.051
- Banasik, A., Kanellopoulos, A., Claassen, G. D. H., Bloemhof-Ruwaard, J. M., van der Vorst, J. G. A. J., 2017, "Closing loops in agricultural supply chains using multi-objective optimization: A case study of an industrial mushroom supply chain", *International Journal of Production Economics*, 183, 409-420. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.012>
- Chan, F. T. S., Jha, A., Tiwari, M. K., 2016, "Bi-objective optimization of three echelon supply chain involving truck selection and loading using NSGA-II with heuristics algorithm", *Applied Soft Computing*, 38, 978-987. doi:10.1016/j.asoc.2015.10.067
- de Groot, H. L. F., Verhoef, E. T., Nijkamp, P., 2001, "Energy saving by firms: decision-making, barriers and policies", *Energy Economics*, 23(6), 717-740. doi:[https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(01\)00083-4](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(01)00083-4)
- Fahimnia, B., Sarkis, J., Eshragh, A., 2015, "A tradeoff model for green supply chain planning: A leanness-versus-greenness analysis", *Omega*, 54, 173-190. doi:10.1016/j.omega.2015.01.014
- Fernando, Y., Wah, W. X., 2017, "The impact of eco-innovation drivers on environmental performance: Empirical results from the green technology sector in Malaysia", *Sustainable Production and Consumption*, 12, 27-43. doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2017.05.002>
- Iida, T., 2012, "Coordination of cooperative cost-reduction efforts in a supply chain partnership", *European Journal of Operational Research*, 222(2), 180-190. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.03.029>

- Jaffe, A. B., Newell, R. G., Stavins, R. N., 2005, "A tale of two market failures: Technology and environmental policy", *Ecological Economics*, 54(2), 164-174. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.12.027>
- Kavitha, C. a. V., C., 2013, "Multi Objective Fuzzy Linear Programming Technique for Weighted Additive Model for Supplier Selection in Supply Chain Management", *International Journal of Applied Mathematics and Informatics*.
- Mehlawat, M. K., Kumar, S., 2017, "A multiobjective optimization model for optimal supplier selection in multiple sourcing environment", 26, 18.
- Pan, W., Wang, F., Guo, Y., Liu, S., 2015, "A Fuzzy Multiobjective Model for Supplier Selection under Considering Stochastic Demand in a Supply Chain", *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 8. doi:[10.1155/2015/174585](https://doi.org/10.1155/2015/174585)
- Sadeghi Rad, R., Nahavandi, N., 2018, "A novel multi-objective optimization model for integrated problem of green closed loop supply chain network design and quantity discount", *Journal of Cleaner Production*, 196, 1549-1565. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.034>
- Seifbarghy, M., Pourebrahim Gilkalayeh, A., Alidoost, M., 2011, "A Comprehensive Fuzzy Multiobjective Supplier Selection Model under Price Brakes and Using Interval Comparison Matrices", *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 4(4), 224-244.
- Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S. S., Thakur, L. S., 2012, "Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain", *Expert systems with applications*, 39(9), 8182-8192.
- Soleimani, H., Govindan, K., Saghafi, H., Jafari, H., 2017, "Fuzzy multi-objective sustainable and green closed-loop supply chain network design", *Computers & Industrial Engineering*, 109, 191-203. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.038>
- Talaei, M., Farhang Moghaddam, B., Pishvaei, M. S., Bozorgi-Amiri, A., Gholamnejad, S., 2016, "A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: a numerical illustration in electronics industry", *Journal of Cleaner Production*, 113, 662-673. doi:[10.1016/j.jclepro.2015.10.074](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.074)
- Teng, M.-J., Wu, S.-Y., Chou, S. J.-H., 2014, "Environmental Commitment and Economic Performance – Short-Term Pain for Long-Term Gain", *Environmental Policy and Governance*, 24(1), 16-27. doi:[doi:10.1002/eet.1634](https://doi.org/10.1002/eet.1634)
- Tiwari, R. N., Dharmar, S., Rao, J. R., 1987, "Fuzzy goal programming – An additive model", *Fuzzy Sets and Systems*, 24(1), 27-34. doi:[https://doi.org/10.1016/0165-0114\(87\)90111-4](https://doi.org/10.1016/0165-0114(87)90111-4)
- Wang, F., Lai, X., Shi, N., 2011, "A multi-objective optimization for green supply chain network design", *Decision Support Systems*, 51(2), 262-269. doi:<https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.11.020>
- Zimmermann, H.-J., 1978, "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions", *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 45-55.



## DOĞALTAŞ OCAKLARINDA EKSKAVATÖR OPERATÖRLERİNİN TÜM VÜCUT TİTREŞİM MARUZİYETİNİN İNCELENMESİ

<sup>1</sup>Ali Ekrem ARITAN, <sup>1</sup>Melek TÜMER

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, AFYONKARAHİSAR  
<sup>1</sup>aritan@aku.edu.tr, <sup>2</sup>mlktumer03@hotmail.com

(Geliş/Received: 06.08.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 25.12.2018)

**ÖZ:** Dünyada ve Ülkemizde endüstriyelleşmenin hızlanması ile birlikte maden üretiminde de büyük artışlar görülmektedir. Üretim artışıyla beraber maalesef iş kazaları ve meslek hastalıkları da fazlalaşmaktadır. Bu konuda iyi bir karneye sahip olmayan Türkiye’de, iş sağlığı ve güvenliği halen tam manasıyla hayata geçirilememiş bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği (İSG) çok geniş bir yelpazeye sahiptir ve her bir konusu ayrı bir önem taşımaktadır. İSG konularından biri olan titreşim, özellikle madencilik sektöründe üzerinde en az çalışma bulunanlardandır. Bu çalışmada, doğaltaş madenciliği sektöründe çalışan, ekskavatör operatörlerinin tüm vücut titreşimine (TVT) maruziyetleri araştırılmıştır. Hem kırıcı uç hem de kova takılı iken ölçümler alınmıştır. Sonuç olarak; ekskavatör operatörlerinin kırıcı ucla çalışma yapılırken daha yüksek miktarda titreşime maruz kaldıkları görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Doğaltaş madenciliği, İş sağlığı ve güvenliği, Tüm vücut titreşimi (TVT), Titreşim maruziyeti

### Investigation of Whole Body Vibration Exposure of Excavator Operators in Natural Stone Quarries

**ABSTRACT:** With the acceleration of industrialization in the world and in our country, there are great increases in mining production. Unfortunately, with the increase in production, occupational accidents and diseases are becoming more widespread. In Turkey, which does not have a good report card in this regard, occupational health and safety is still an element that has not been fully implemented. In this regard, occupational health and safety is still an element that has not been fully implemented. Occupational health and safety has a wide range. Each issue of occupational health and safety is of a different importance. Vibration is one of the least studied in the mining sector. In this study, whole body vibration (WBV) exposures of excavator operators working in the natural stone mining sector were investigated. Measurements were made with both hydraulic hammer and bucket mounted. As a result, excavator operators were exposed to higher vibration when working with the hydraulic hammer end.

**Key Words:** Naturel stone mining, Occupational safety and health, Vibration exposure, Whole body vibration (WBV)

### GİRİŞ (INTRODUCTION)

Doğaltaş madenciliğinde operatörlerin sürekli olarak mekanik titreşimlere maruz kaldığı birkaç çalışma faaliyeti vardır. Bu maruziyet genellikle işyerlerinde bir rahatsızlık ya da iyi olma eksikliği anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, büyüklüğüne ve süresine bağlı olarak, titreşime maruz kalmak geri dönüşü olmayan hasara neden olabilir (Waters ve diğ., 2008). Mesleki titreşim maruziyetinin etkisi, hem ekonomik hem de kişisel anlamda sonuçlara sahip hastalıklar olarak karakterize edilebilir (Meyer ve diğ., 1998).

Rakheja ve Sankar' a göre (1983), kamyon, traktör ve diğer arazi taşıtlarını bozuk arazilerde sürekli kullanan çalışanlarda fiziksel sağlık sorunlarının yanı sıra psikolojik rahatsızlıklara da rastlanmaktadır. Çalışanların verimliliği ve sağlığı açısından, bu sorunların giderilmesi büyük öneme sahiptir.

Marin ve arkadaşları 2017 yılında yaptıkları çalışmada, açık ocak madenciliğinde kullanılan iş makineleri operatörlerinin tüm vücut titreşimine yüksek seviyelerde maruz kaldıklarını söylemişlerdir. Bu çalışmanın ayrıntılı sonuçları, tüm vücut titreşimini azaltmanın yanı sıra belirli bir eksen veya maruz kalma eksenleri üzerindeki etkilerini izleme konusunda potansiyel mühendislik kontrollerinin etkinliğini araştırmak için kullanılabilir.

Aye ve Hens 2011 yılında Güney Afrika'da açık ocak madenciliğinde tüm vücut titreşim ölçümü ve değerlendirmesi yapmışlardır. Ölçümleri SVAN 958 marka cihazla almışlardır ve değerlendirmelerini ISO 2631-1 (1997) standardı çerçevesinde yapmışlardır. A(8) ve VDV parametreleri kullanılarak yapılan ölçümlerde görülmüştür ki ekipmanların % 95'i maruziyet sınır değerinin altındadır. Ekipmanların % 50'si ise maruziyet eylem değerini aşmakta ve titreşim risklerine sebep olmaktadır. Bu durum madencilikte titreşim için risk değerlendirmesi ve yönetiminin gerekliliğini göstermektedir. Titreşim seviyelerinin azaltılması ve çalışanlara eğitim verilmesi tavsiye edilmektedir.

Mandal ve arkadaşları 2013 yılında, maden makinelerinin titreşim düzeylerini ve titreşime maruz kalma süresini izlemeyi, maden makineleri operatörlerinin çalışma uygulamalarını incelemeyi ve operatörün titreşim maruziyetinin sağlık riskini öngörmeyi belirlemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda kamyonlar, z ekseninde titreşimi azaltmak için mühendislik kontrolünü gerektirirken, yükleyiciler veya dozerler için x eksenini için gerekli önlemlerin alınması gerektiğini söylemişlerdir. Ekskavatörler, düzenli izleme haricinde acil önlem gerektirmez. Çalışanları titreşime bağlı hastalıklardan korumak için iş uygulamalarında iyileştirme gerekmektedir. İşyerinde titreşimin ölçülmesi ve kontrolü için uygun kuralların formüle edilmesi sonucuna varmışlardır.

EU 2006-2002/44/EC sayılı Avrupa Direktifi, tüm vücut titreşimine uzun süre maruz kalmanın epidemiyolojik çalışmalarının özellikle bel omurgasında, aynı zamanda boyun ve omuzda, sağlık için yüksek risk olduğunu kanıtlamıştır. Bazı çalışma koşullarının sindirim sistemi, dişi üreme organları ve periferik damarlar üzerinde etkileri olduğunu bildirmiştir.

Seidel 2005 yılında yaptığı çalışmada; tüm vücut titreşimine maruz kalmanın kas yorgunluğu, bel ağrısı, spinal dejenerasyon, gastrointestinal sistem problemleri baş ağrıları ve mide bulantısı gibi sağlık sorunlarına yol açacağını söylemiştir.

Alphin ve arkadaşları (2010), ekskavatör operatörlerinin tüm vücut titreşimine maruz kalmanın önemli sağlık tehlikesi olduğunu yaptıkları çalışma ile ortaya koymuşlardır. Yapılan çalışmada tüm vücut titreşim maruziyet değerinin, maruziyet sınır değeri üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ölçülen titreşim parametrelerinin bel ağrısı, bacak ağrısı ve kas-iskelet rahatsızlıklarına sebep olduğunu söylemişlerdir.

## **TÜM VÜCUT TİTREŞİMİ (WHOLE BODY VIBRATION)**

Tüm vücut titreşimi, tüm vücuda iletiildiğinde, özellikle çalışanın sağlık ve güvenlik riskini artıran, omurganın alt sırt hastalık oranını ve travmasını arttıran mekanik bir titreşimdir (EU 2006-2002/44/EC sayılı Avrupa Direktifi). TVT'ye maruz kalma, otururken, ayakta dururken veya titreşim kaynağıyla temas halinde olabilir (ISO 2631-1,1997).

2002/44/ EC sayılı AB Direktifi ve Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, hem elle iletilen titreşim hem de tüm vücut titreşimi için "günlük maruz kalma eylemi değerlerini" ve "günlük maruz kalma sınır değerlerini" belirtmektedir (Çizelge 1). Direktif ve yönetmelikte açıklandığı üzere idari, teknik ve tıbbi önlemlerin işverenler tarafından uygulanması gerekmekte ve çalışanların titreşime maruz kalmasından kaynaklanan risklere karşı korunması amaçlanmaktadır (EU 2006-2002/44/EC sayılı Avrupa Direktifi; ÇSGB, 2013). Çalışanların sağlığı açısından titreşim, el-kol ve tüm vücut titreşimi olarak ikiye ayrılmaktadır.

**Çizelge 1.** Titreşim maruziyet değerleri*Table.1. Vibration exposure values*

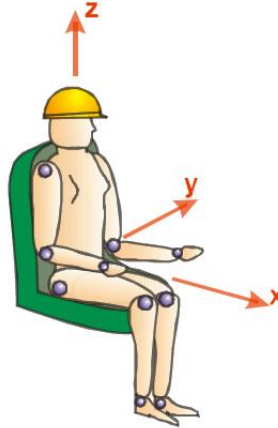
	Tüm Vücut Titreşimi A(8)	Tanımlar
Maruziyet Eylem Değeri	0,5 m/s <sup>2</sup>	Bir veya daha fazla önlemin* alındığı değer.
Maruziyet Sınır Değeri	1,15 m/s <sup>2</sup>	Korunmasız bir çalışanın kabul edilemez risklere maruz kaldığı değer. Bu değer aşılması yasaktır ve yönetmelik** uygulanarak önlem alınmalıdır.

\* Bilgilendirme, eğitim, teknik önlemler, sağlık denetimleri. \*\* Sağlık ve güvenliğin korunması için uygun önlemler.

Doğaltaş ocaklarında çalışan operatörlerde TVT'ye mesleki maruziyet, işle ilgili bel ağrısı riskinin artmasıyla ilişkilidir (Bovenzi ve diğ., 2006). Yaralanmaya sebep olacak dört olası maruz kalma türü belirlenmiştir;

- 1) Daha uzun süreler boyunca düşük seviyeli titreşimlere maruz kalma,
- 2) Daha kısa periyotlarda birden fazla titreşime maruz kalma,
- 3) Tek veya birkaç bölümün üst düzey titreşimine maruziyet.
- 4) 1 ve 2 kombinasyonu (Pope ve diğ., 2002).

TVT, vücuda ayaklardan, kalçadan, sırt veya başın arka tarafından girmektedir (Şekil 2.1). TVT maruziyeti vücuda girdiği noktaya yakın olmayan organları da etkileyebilme potansiyeline sahiptir. Titreşim ivmesinin sebep olduğu konforsuzluk, titreşimin yönüne, frekansına, maruziyet süresine ve vücuda iletiği noktaya bağlıdır (Zeyrek, 2009). Operatör kabin içerisinde oturur pozisyonda bulunacağından Şekil 1'deki titreşimlere maruz kalacaktır (Erzi, 2002).



**Şekil 1.** İnsanı etkileyen mekanik titreşimler için koordinat sistemlerinin yönleri (EU 2006-2002/44/EC sayılı Avrupa Direktifi)

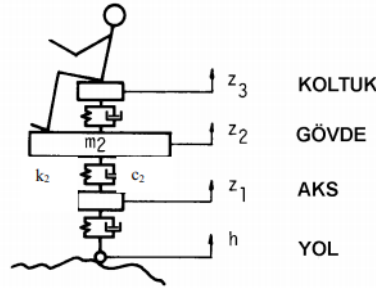
*Figure 1. Directions of coordinate systems for mechanical vibrations affecting the people*

TVT, birçok araştırmacı tarafından bel ağrısı için bir risk faktörü olarak tanımlanmıştır (Bernard, 1997; Bovenzi, 1992, 1994, 1999; Lis ve diğ., 2007 and Seidel, 2005). Uzun süreli TVT maruziyeti omurgaya, omurga uç plaklarına, omurlar arası disklere ve bel kaslarının mekanik hasar görmesine neden olarak ağrılara neden olabilir (Wikstrom ve diğ., 1994).

İş makineleri seyir esnasında iken yol pürüzlülüğü titreşime sebep olmaktadır. Yol pürüzlülüğünden kaynaklanan titreşimler rastlantısal titreşimlerdir ve ancak istatistiksel olarak tanımlanabilmektedir (Güney ve Ereke, 1990; Tümer, 2018). 1979 yılında Robson yaptığı çalışmada yol

yüzeyinin pürüzlülüğünün yoğunluğunu veren ifadeyi elde etmiştir. Bunu takiben Sharp ve Crolla (1987) çalışmalarında tali yol, anayol ve otoyol için Robson'un formülünde yer alan pürüzlülük katsayısının alacağı ortalama aralığı belirlemiştir.

İş makinelerinin üzerinde bulunduğu zeminin sebep olduğu titreşimlerin makine gövdesine iletilen kısmı bazı çalışma ve tasarım parametrelerine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 2). Tekerlek ve süspansiyon sisteminin dinamik ve statik özellikleri, titreşimin genlik ve frekans aralıklarını belirlemektedir (Çakan, 2013).



Şekil 2. Operatöre etki eden titreşimler

Figure 2. Vibrations affecting the operator

Bu çalışmada, doğaltaş ocaklarında kullanılan ekskavatör operatörlerinden kırıcı ve kovalı ekipmanla alınan kişisel titreşim maruziyet ölçümleri değerlendirilecektir. Bu sebeple taşıt titreşimleri incelediğinde titreşimin kaynakları yol pürüzlülüğü, taşıtın dönen elemanlarının arıza durumu, motor titreşimleri ve seyir hareketleridir.

## MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Çalışma, Afyonkarahisar ve Ankara İl sınırları içerisinde bulunan 5 doğaltaş ocağında yapılmıştır. Çizelge 2'de ocaklarla ilgili bilgiler verilmiştir.

Tüm vücut titreşim ölçümleri ISO 2631-1 standardına göre, Cesva VC431 - titreşim ölçüm cihazı tüm vücut uygulamaları için AC033 üç eksenli ivmeölçer ile yapılmıştır (Şekil 3). Standart dikkate alındığında koltuk üzerinde, maruziyet oluşturan titreşimi ölçmek için kullanılan prob, koltukta oturan çalışanın kalçasının altına, -x eksenine çalışana doğru olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 4). Ekipman, üretici firma tarafından önerilen yöntem kullanılarak kalibre edilmiştir. Her ölçümden sonra, elde edilen veriler daha fazla işlem için bir dizüstü bilgisayara kopyalanmıştır.

Çizelge 2. Deneyleerde kullanılan doğaltaşların kod ve bölgeleri

Table 2. Codes and regions of natural stones used in experiments

Numuneler	Numunelerin Kodları	Numunelerin Bölgeleri
Silver traverten	st	Emirdağ
Afyon gri	ag	İscehisar
Bej	b	Şuhut
Tundra gri	tg	Çay
Andezit	a	Yenimahalle



Şekil 3. Titreşim ölçüm cihazı

*Figure 3. Vibration meter*

Ocakta bulunan kırıcı uç ve kovalı çalışan ekskavatörlerde titreşim maruziyet ölçümleri yapılmaya başlanmadan önce, normal çalışma şartlarına ulaşmak amacıyla, ekskavatörün ısınması için yeterli zaman (en azından 10 dakika), ekskavatörün belirli bir aralıkta hareket ettiği ve koltuk süspansiyon mekanizmasının (yerleştirilmişse) çalışması sağlanmıştır (TS EN 1032+A1, 2011).

Ölçümlere başlanmadan ocakta ölçüm alınacak ekskavatörlerin çalışma süreleri ve bakım periyodları kontrol amaçlı ön inceleme yapılmıştır. Titreşime sebep olan tüm çalışma koşulları incelenerek titreşime maruz kalma değerini yüksek oranda etkilemesi muhtemel olan işler belirlenmiştir.

ISO 2631-1 (1997) standardında belirtildiği üzere ölçüm alınacak süre 7 dakikadan az olmayacak şekilde -x, -y ve -z eksenleri ile ölçüm alınmıştır. Titreşim genliğini belirlemek için  $m/s^2$  biriminden frekans ağırlıklı ivmenin RMS (Root Mean Square) değerinden ölçümler alınmıştır. Günlük titreşime maruziyet ölçümleri için 8 saatlik frekans ağırlıklı toplam titreşim değeri A(8) ile ifade edilir.



Şekil 4. Tüm vücut titreşim ölçüm yeri

*Figure 4. Whole body vibration measuring area*

### HESAPLAMALAR (CALCULATIONS)

TVT için titreşim analizi, ISO 2631-1 (1997) standardında yer alan formüllere göre hesaplanmaktadır. Bu çalışmada rms ivmesi ve 8 saatlik eşdeğer titreşim dozu değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümlerin her biri için hesaplamalar Eşitlik 1'deki gibidir. Burada T ölçüm süresi,  $a_w(t)$ ; t zamanındaki frekans ağırlıklı ivmedir.

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad (1)$$

Frekans ağırlıklı ortalama karekök (rms) ivmeleri ( $a_{wx}$ ;  $a_{wy}$ ;  $a_{wz}$ ), ISO 2631-1'de (x-axis= $W_d$ ; y-axis= $W_d$ ; z-axis= $W_k$ ) tanımlanan uygun ağırlıklandırma faktörleri kullanılarak hesaplanır(x-ekseni,  $k=1.4$ ; y-ekseni,  $k=1.4$ ; z-ekseni,  $k=1.0$ ).

Her bir eksen için tepe ivmelenmeleri (ölçüm süresi boyunca maksimum anlık hızlanma), aynı zamanda frekans ağırlıklı rms vektörü toplamı değeri (Eşitlik 2) ile birlikte hesaplanır, burada  $a_v$ , frekans ağırlıklı rms vektörü toplam değeri ve  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$ , ve  $a_{wz}$ , sırasıyla x, y ve z eksenindeki frekans ağırlıklı rms hızlandırma değerleridir.

$$a_v = \sqrt{(1,4a_{wx})^2 + (1,4a_{wy})^2 + (1,0a_{wz})^2} \quad (2)$$

Bu çalışmada, alınan titreşim ölçüm sonuçları trafik lambası sistemine göre değerlendirilmiştir (Çizelge 3). Trafik lambası sistemine göre yeşil renk eylem değerinin altında, sarı eylem değerini üstünde, kırmızı ise sınır değerinin üstündeki bölgeyi temsil etmektedir (EU 2006-2002/44/EC sayılı Avrupa Direktifi).

**Çizelge 3.**Trafik lambası sistemi için örnek renk kodlama şeması (EU 2006-2002/44/EC sayılı Avrupa Direktifi)

*Table 3. Example color coding scheme for traffic lamp system (European Directive 2006-2002 / 44 / EC)*

Renk kodu	Titreşim büyüklüğü (m/s <sup>2</sup> )	Eylem değerine ulaşma süresi	Sınır değerine ulaşma süresi
Yeşil	0-0,5	2 saatten fazla	8 saatten fazla
Sarı	0,5-1,15	30 dakika-2 saat	2-8 saat
Kırmızı	>1,15	30 dakikadan az	2 saatten az

### BULGULAR (RESULTS)

Doğaltaş ocaklarında mevcut durumda çalışan, bakımları yapılmış ekskavatör operatörlerine ait TVT ölçüm sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.** Tüm vücut titreşimi maruziyet ölçümleri*Table 4. Whole body vibration exposure measurements*

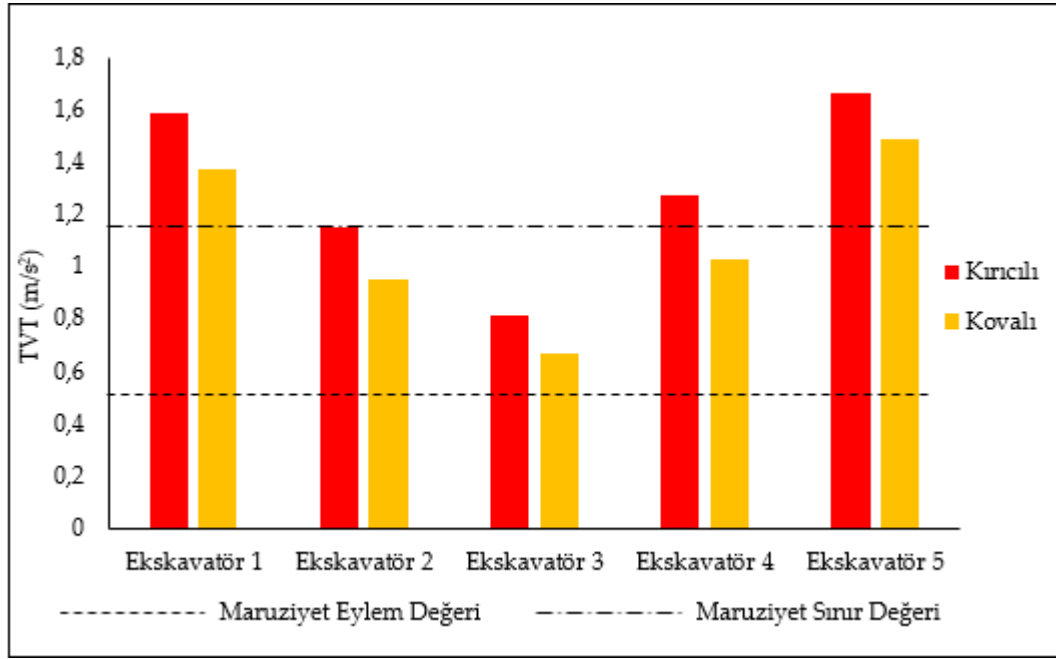
Doğaltaş Ocağı	Ekskavatör (Kırıcı)	Maruz kalma	Ekskavatör (Kovalı)	Maruz kalma
st	1,59	Maruziyet sınır değeri üzerinde	1,37	Maruziyet sınır değeri üzerinde
ag	1,15	Maruziyet sınır değeri	0,95	Maruziyet eylem değeri üzerinde
b	0,81	Maruziyet eylem değeri üzerinde	0,67	Maruziyet eylem değeri üzerinde
tg	1,27	Maruziyet sınır değeri üzerinde	1,03	Maruziyet eylem değeri üzerinde
a	1,66	Maruziyet sınır değeri üzerinde	1,49	Maruziyet sınır değeri üzerinde

Doğaltaş ocaklarından alınan titreşim sonuçları Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik ve 2002/44/ EC sayılı AB Direktifi'ne göre incelendiğinde, tüm ocaklardaki ekskavatör operatörlerinin maruziyet eylem değeri üzerinde titreşime maruz kaldıkları görülmüştür. Bu durum tüm operatörlerin mesleki titreşim maruziyet sonucu hastalıklara yakalanma olasılığının fazla olduğunu göstermektedir. Çizelge 1'de de görüldüğü üzere işveren bir veya daha fazla önlem almakla yükümlüdür.

#### SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, TVT maruziyet ölçümleri, ISO 2631-1 standardına göre alınmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre kırıcı uçla çalışan ekskavatör operatörlerinin % 20'si maruziyet eylem değerini aşarken geriye kalan % 80'i maruziyet sınır değerini aşmaktadır. Ölçüm sonuçları trafik lambası sistemine göre değerlendirildiğinde 2 ve 3 numaralı operatörlerin risk rengi sarı iken diğer operatörlerin risk rengi kırmızıdır (Şekil 5).

Kovalı çalışan ekskavatör operatörlerinin TVT ölçüm sonuçları incelendiğinde, tüm operatörlerde maruziyetin eylem değeri üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Risk renklerine göre değerlendirme yapıldığında üç ocakta görev alan operatörlerin risk rengi sarı iken, diğer operatörlerin risk rengi kırmızı bölgede yer almaktadır.



Şekil 5. Ekskavatör operatörlerinin titreşim maruziyetleri

Figure 5. Vibration exposures of excavator operators

Ekskavatör operatörlerinde yapılan TVT maruziyet ölçümü sonuçlarının farklılığı; jeolojik formasyonların farklılığı, kullanılan iş makinelerinin operatör koltuklarının yıpranması, operatörlerin makine kullanım becerisi ve tecrübeleri gibi etkenlere bağlıdır.

Makinenin çalışma yaptığı zeminin hazırlanması, makineyi zorlamayacak şekilde çalışmak ve makine-kayaç mesafesinin iyi ayarlanması gibi konularda eğitim, tecrübe ve becerilere sahip operatörlerin TVT maruziyeti daha düşük olacaktır. Bu sebeple operatörler ekskavatör kullanımı ile ilgili gerekli eğitim almalı ve tecrübeyi kazanmalıdırlar.

Ekskavatör operatörlerinin mesleki TVT maruziyeti sonucu kas-iskelet sistemi hastalıklarına yakalanma olasılıkları yüksektir. Trafik lambası sistemine göre sarı ve kırmızı risk bölgesinde bulunan operatörler için işveren gerekli önlemleri almalıdır. Tüm ekskavatör operatörlerinin titreşim maruziyeti eylem değerini aştığı Çizelge 5'te görülmektedir.

Çalışmalarda maruziyet eylem değeri aşıldığında işveren, operatörleri titreşimden koruyabilmek için şu tedbirleri almakla yükümlüdür; titreşim maruziyetine sebebiyet verecek riskler kaynağından yok edilmeli veya en aza indirilmelidir. Titreşim maruziyetini azaltan farklı çalışma yöntemleri tercih edilmeli, çalışma ve üretim hızını maruziyet sürelerine göre belirlenmelidir. Operatörlere ekskavatörü doğru ve güvenli bir şekilde kullanmaları için gerekli bilgi ve eğitim verilmelidir. En düşük düzeyde titreşim maruziyeti oluşturan, ergonomik tasarlanmış uygun ekskavatör seçilmelidir. Ekskavatörlerin yıpranıp, titreşim maruziyetini artmaması için periyodik bakım programları uygulanmalıdır.

#### KATKI BELİRTME(ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma; Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 17.FEN.BİL.56 nolu proje ile desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR(REFERENCES)

Alphin.M.S, K.Sankaranarayananamy and S.P.Sivapirakasam, 2010, "Experimental evaluation of whole bodyvibration exposure from tracked excavatorswith hydraulic breaker attachment in rockbreaking operations", *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, Cilt 29, Sayı 2, 101-110.



- Aye, S., Heyns, P. S., 2011, "The evaluation of whole body vibration in a South African opencast mine", *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Cilt 111, Sayı 11, 751-758.
- Bernard, B.P. ve diğ., 1997, "Low-back musculoskeletal disorders: Evidence for work relatedness. In: musculoskeletal disorders and workplace factors", *National Institute for Occupational Safety and Health*, Cincinnati.
- Bovenzi, M., Betta, A., 1994, "Low back pain disorder in agricultural tractor drivers exposed to whole body vibration and postural stress", *Applied Ergonomics*, Cilt 25, 231-241.
- Bovenzi, M., Zadini, A., 1992, "Self-reported low back symptoms in urban bus drivers exposed to whole body vibration", *Spine*, Cilt 17, 1048-1059.
- Bovenzi, M., Hulshof, C.T., 1999, "An updated review of epidemiological studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, Cilt 72, 351-365.
- Bovenzi, M., Rui, F., Negro, C., D'Agostin, F., Angotzi, G., Bianchi, S. and Stacchini, N. 2006, "An epidemiological study of low back pain in professional drivers", *Journal of Sound and Vibration*, Cilt 298, Sayı 3, 514-539.
- Çakan, A., 2013, *Karayolu Taşıtları Süspansiyon Sisteminde Aktif Titreşim Kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB), 2013, "Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik", Ankara.
- Doğan, T., Erdem B. ve Duran, Z., 2015, Tüm Vücut Titreşiminin Operatör ve Sürücüler Üzerindeki Etkileri: Ölçümü ve Değerlendirilmesi, *Madencilik*, Cilt 54, Sayı 3-4, 25-39
- Erzi, A.I., 2002, "Cadde ve Ray Taşıtları Titreşimleri", *İTÜ Makina Fakültesi Matbaası*, İstanbul.
- EU., 2006, "Non-binding guide to good practice with a view to implementation of directive 2002/44/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibrations)", Directorate-General for Employment, *Social Affairs and Inclusion, European Commission*, 61.
- Güney, A., Ereke, M., 1990, "Devrilebilir Sürücü Kabini Askı Elemanlarının Titreşim Konforuna Etkisi", *Dördüncü Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu*, Yalova, 233-243.
- Lis, A., M., Black, K., M., Korn, H., Nordin, M., 2007, "Association between sitting and occupational LBP", *European Spine Journal*, Cilt 16, Sayı 2, 283-298.
- Mandal, B.B., Pal, A.K., Sishodiya, P.K., 2013, "Vibration characteristics of mining equipment used in Indian mines and their vibration hazard potential", *International Journal of Environmental Health Engineering*, Cilt 2, Sayı 4, 1-10.
- Marin, L.S., Andres, C., R., Estefany, R., Hugo, P., Lope, H. B., Jack, T.D., Peter, W. J., 2017, "Assessment of whole-body vibration exposure in mining earth-moving equipment and other vehicles used in surface mining", *Annals of Work Exposures and Health*, Cilt 61, Sayı 6, 669-680.
- Meyer, J., Flenghi, D., Deschamps, J., 1998, "Effects of manual handling posture and whole-body vibration on low back pain", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Cilt 4, 195-213.
- Pope, M., Magnusson, M., Lundström, R., Hulshof, C., Verbeek, J., Bovenzi, M., 2002, "Guidelines for whole-body vibration health surveillance", *Journal of Sound and Vibration, Vibration Injury Network*, Cilt 253, Sayı 1, 131-167.
- Rakheja, S., Sankar, S., 1983, "An optimum seat-suspension for off-road vehicles", *The Shock and Vibration Bulletin*, Cilt 53, 19-35.
- Robson, J. D., 1979, "Road surface description and vehicle response", *International Journal of Vehicle Design*, Cilt 1, Sayı 1, 25-35.
- Seidel, H., 2005, "On the relationship between whole-body vibration exposure and spinal health risk", *Industrial Health*, Cilt 43, 361-377.
- Sharp, R. S., Crolla, D. A., 1987, "Road vehicle suspension system design - A review", *Vehicle System Dynamics*, Cilt 16, 167-192.

- Tümer, M., 2018, *Doğaltaş Madenciliğinde Oluşan Titreşimin Çalışanlar Açısından Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- TS EN 1032+A1., 2011, Türk Standartları, *Mekanik titreşim-Titreşim emisyon değerinin belirlenmesi amacıyla hareketli makinelerin deneye tabi tutulması*, TSE, Ankara.
- ISO 2631-1., 1997, *Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General requirements*, Geneva.
- Waters, T., Genaidy, A., Viruet, H.B., Makola, M., 2008, "The impact of operating heavy equipment vehicles on lower back disorders", *Ergonomics*; Cilt 51, 602-636.
- Wikstrom, B., O., Kjellberg, A., Landstrom, U., 1994, "Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration: a review", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Cilt 14, 273-292.
- Zeyrek, S., 2009, "Titreşim, İş Sağlığı ve Güvenliği", Uzmanlık Tezi, *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü*, Ankara.

## INVESTIGATING USE OF PRESSURE PULSES TO ASSESS NEAR WELLBORE RESERVOIR PARAMETERS

<sup>1</sup>İsmail DURGUT, <sup>2</sup>Jon S. GUDMUNDSSON, <sup>3</sup>Alberto Di LULLO

<sup>1</sup>Department of Petroleum Natural Gas Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey  
<sup>2</sup>(Retired) Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics, NTNU, Trondheim, Norway  
<sup>3</sup>Flow Assurance Engineering Technologies, ENI, Upstream and Technical Services, San Donato Milanese, Italy

<sup>1</sup>durgut@metu.edu.tr, <sup>3</sup>alberto.dilullo@eni.com

Geliş/Received: 16.10.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 26.02.2019)

**ABSTRACT:** Pressure surge in a pipe due to sudden flow rate change or full-stop of fluid flow is a pressure wave propagating in fluid along the pipe. This phenomenon has been used to determine the flow rate and to detect and monitor changes in effective flow diameter. It turns out that the pressure surge, also known as pressure pulse, can be used to estimate the formation transmissivity and storativity in the near wellbore region. In this study, propagation of pressure pulse generated by sudden valve closure is simulated with a transient pipe flow model, and it is coupled with a transient analytical reservoir model. The coupled model is used to estimate the reservoir parameters by history matching approach, which is to iterate the transmissivity and the storativity values until an acceptable match is obtained between the measured and simulated pressure history at the upstream of valve. The developed modeling and estimation scheme is applied with two data sets from a field well test to estimate reservoir parameters. The reservoir parameters transmissivity and storativity in the near wellbore region were obtained from the history matching analysis. Matching analysis with the coupled model on the recorded wellhead pressure during two tests showing obvious different flowing conditions points out very similar reservoir parameter values.

**Key Words:** *Pressure waves, Reservoir parameters, Transient pipe flow, Water hammer*

### Kuyu Yakınında Rezervuar Parametrelerinin Belirlenmesinde Basınç Darbesinin Kullanılmasının İncelenmesi

**ÖZ:** Bir akışkanın aktığı boruda ani akış hızı değişikliği veya akışın aniden durdurulması boru içerisinde yayılan basınç dalgalanmasına sebep olur. Bu doğal olgu akış hızının ölçümü ve borunun etkin çapının belirlenmesi ve gözlenmesi hesaplamalarında kullanılmıştır. Basınç darbesi olarak da bilinen basınç dalgası kuyu yakınında formasyon geçirimsizliği ve storativitesinin tahmininde kullanılabileceği öngörülmektedir. Bu çalışmada, ani vana kapanmasıyla oluşturulan basınç darbesinin yayılımı geçici rejim boru akış modeli ile simüle edilip, bu model analitik geçici rejim rezervuar modeli ile birleştirilmiştir. Birleştirilen model, vana girişinde ölçülen ve hesaplanan basınç değişim verilerini eşleştirme yaklaşımıyla rezervuar parametrelerinin iteratif olarak tahmini işleminde kullanılmıştır. Geliştirilen bu modelleme ve tahmin yaklaşımı bir kuyudaki iki kuyu test verisine rezervuar parametrelerini tahmin etme amacıyla uygulanmıştır. Kuyu civarındaki geçirimsizlik ve storativite değerleri ölçülen/hesaplanan veri eşleştirme yöntemiyle elde edilmiştir. Kuyuda iki farklı akış durumunda ölçülen basınç değişimi bilgisinin birleştirilmiş modelle gerçekleştirilen eşleştirme analizi rezervuar parametreleri için çok benzer değerleri işaret etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Basınç dalgası, Basınç darbesi, Geçici rejim boru akışı, Rezervuar parametreleri*

## INTRODUCTION

Sudden rate change or full-stop of fluid flow in a conduit causes a pressure surge called water hammer, also known as a pressure pulse. When a valve is activated quickly, the pressure pulse (i.e. compression or expansion type pressure wave) generated propagates upstream and downstream. This phenomenon has been known for centuries (Mambretti, 2005) however, a Russian professor Nikolay Joukowsky was the first to describe the phenomenon theoretically and to define “the fundamental equation of water hammer” which is the best-known equation in transient flow theory. Therefore, this equation is known as Joukowsky equation (Ghidaoui et al., 2005). Moreover, his experimental work showed also that the water hammer waves propagate in piping system with a constant speed, which is independent of the shock intensity but depend on the pipe material and the pipe wall thickness (Prümmer, 2009).

The petroleum industry recognizes the potential effect and use of the phenomenon, however mostly from operational perspective. For instance, Santarelli et al. (2000) investigated the effect of water hammer on triggering sand liquefaction and production in water injectors; Zazovsky et al.'s (2014) evaluated the impact of pressure pulse generated by valve closure on formation, which might cause damage and transient sand production. Some other work has also been done on downhole formation damage and sand stability subject to water hammer waves (Vaziri et al., 2007; Wang et al., 2008). Livescu and Watkins (2014) investigated the water hammer pulses on the radial vibrations in coiled tubings and developed a model to simulate vibrations of the coil tubings with water hammer pulses.

Besides, pressure pulses can also be used to meter flows and to detect and monitor deposits. Gudmundsson and Celius (1999) showed the applicability of pressure pulse method for allocation testing and wellbore monitoring. Gudmundsson et al. (2001) applied pressure pulse to detect deposits in pipelines. Recently Carey et al. (2015) suggested that hydraulic fracture parameters could be estimated from the water hammer pressure signature by using a transient pipe flow model.

In this study we propose that the storativity and transmissivity of a reservoir near the wellbore can be estimated by using the pressure signal generated by a quick closing valve. The signal measured at upstream of the valve is analyzed by using coupled transient pipe flow and transient analytical reservoir models. The transient pipe flow model simulates the propagation of pressure wave/pulse generated by sudden valve closure in a pipe. The reservoir model, which is implemented as the boundary condition of the transient pipe flow model simulates the reservoir response to the pressure transients at the sand face. The reservoir parameters near wellbore region will be obtained by the history matching analysis using the coupled models.

## MATERIALS AND METHODS

Quick-closing valve generates a pressure pulse, which propagates in the flowing fluid (both upstream and downstream). This pulse stops the flow while traveling in both directions. However, the complete stop takes place at the valve only, because the pulse dampens as the additional pressure required to keep the fluid flowing against the frictional force is released. In the rest of the pipe, the flow velocity will reduce gradually. The reduction of flow velocity is a function of the remained strength of the pulse. In other words, the ever decreasing kinetic energy of the pulse can only decelerate the fluid flow (i.e. cannot completely put the fluid at rest).

When the pulse reaches the bottom hole, it also changes the flow from (or into) the reservoir. As the pulse reflects back from the bottom hole, it also generates pressure transients in the reservoir. Then it propagates toward the wellhead, where it reflects back again. As stated earlier, the pulse strength (i.e. the amplitude of the water hammer pressure wave) is weakened by the frictional losses as the pulse propagates. If the pressure pulse is strong enough, the reflections may repeat tens of times until the pressure pulse attenuates completely. Therefore, a transient pipe flow model coupled with a reservoir flow models required to simulate both the propagation of pressure pulse and the pressure transients in the reservoir.

### Modelling Transient Fluid Flow in Pipe

The transient flow model solves the equations describing the transient flow of single-phase viscous fluid in a pipe. These equations are mass and momentum balance equations for unsteady pipe flow in one dimension; given below respectively (Chevray and Mathieu, 1993):

$$\frac{\partial(A\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(A\rho v)}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(A\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(A\rho v|v|)}{\partial x} + \frac{\partial(Ap)}{\partial x} = -\frac{f}{2D}\rho v|v|A + \frac{4}{3}\frac{\partial}{\partial x}\left(A\mu\frac{\partial v}{\partial x}\right) - A\rho g\frac{dz}{dx} \quad (2)$$

where  $v = v(x, t)$  is the cross-sectional average fluid flow velocity in the direction  $x$  (along the pipe) and at the time  $t$ ,  $p = p(x, t)$  the pressure,  $\rho = \rho(x)$  the fluid density,  $\mu = \mu(x)$  the dynamic viscosity of fluid,  $D = D(x)$  the flow diameter,  $A = A(x)$  the flow area,  $g$  the acceleration of gravity, and  $z$  is the opposite direction of gravity.

Although the energy balance equation is excluded from the system of equations, it does not imply the assumption of isothermal flow condition, because the density and viscosity are considered to vary with distance, which may reflect non-isothermal flow condition along the pipe.

The pressure transients (the pressure waves generated by the valve action) in fluid-filled pipe propagate with the in-situ speed of sound, which can be defined as (Howe 2006):

$$c = \left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)^{0.5} \quad (3)$$

Using the definition of the speed of sound, introducing the mass rate as  $m = \rho v A$ , and neglecting the viscous term; one can transform Eqs. 1 and 2 to

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{c^2}{A} \frac{\partial m}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial m}{\partial t} + \left(1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2\right) A \frac{\partial p}{\partial x} + 2v \frac{\partial m}{\partial x} = -\frac{f}{2D} \frac{m|m|}{\rho A} - A\rho g \frac{dz}{dx} \quad (5)$$

The set of partial differential equations describing propagation of Pressure Pulse is solved by a numerical solver, called Clawpack (Conservation LAWs PACKage), which is a collection of algorithms applying finite volume methods for solving time-dependent hyperbolic equations. Information about the details of solution methodology can be found somewhere else (LeVeque 2002, Falk 1999).

### Initialization of Transient Fluid Flow Model

The solution method needs to set state variables at the time  $t = 0$ . The initialization assumes no variation in the pressure and the mass rate with time before closure (i.e. the steady-state flow condition). Therefore, the pressure along the pipe is simply obtained by the steady state solution of the governing equations (Eqs. 4 and 5), which yields

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\left[\frac{f}{2D} \frac{m|m|}{\rho A} - A\rho g \frac{dz}{dx}\right] / \left[\left(1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2\right) A\right] \quad (6)$$

This equation is solved numerically for each cell starting from the pipe end with valve where the pressure and the rate is known before the valve closure. The discretized form of Eq.6 initializes the cell values, which are evaluated at the center of the cell:

$$p_{i+1} = p_i - \left[\frac{f_i}{2D_i} \frac{m^0|m^0|}{\rho_i A_i} - A_i \rho_i g \frac{dz}{dx}\right] / \left[\left(1 - \left(\frac{v_i}{c_i}\right)^2\right) A_i\right] \Delta x \quad (7)$$

where  $m^0$  is the initial mass flow rate and  $p_0$  is the pressure at the valve. It has a negative value if the direction of flow is from the pipe towards the valve (and then out of the valve), and it is positive for the reverse direction.

### Boundary Conditions of Transient Fluid Flow Model

In addition to initial conditions, the solution to a hyperbolic problem in a limited spatial domain, the numerical algorithm requires boundary conditions to have well-posed problem. Since the system is disturbed by an event, which is indeed the valve closure, it causes a wave propagating down the well.

At the well head, the flow rate changes during the valve closure event, which is modeled as reduction of mass rate in a given period. This is achieved by setting the mass rate at the valve-grid to decreasing values (starting from initial value to zero) during closing period. After the valve is fully closed, the valve is described by a closed-end boundary.

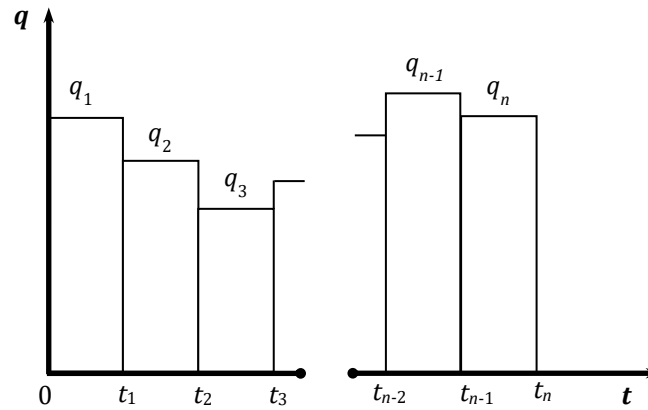
For the other end, i.e. the bottom hole, the constant pressure or constant rate condition can be applied. If the bottom hole boundary condition is set to a constant value, during the simulation run it is kept at its initial steady state value. However, the pressure pulse causing pressure transients in the wellbore causes also pressure transient in the reservoir around the wellbore. Therefore, an infinite acting reservoir model is implemented into the transient fluid flow model. The reservoir model is detailed in Section 2.4.

### Reservoir Model

The model of reservoir is a horizontal radial flow model in a homogeneous porous medium saturated with a slightly compressible fluid. It is also assumed that the reservoir has uniform thickness and isotropic permeability and has been perforated over the entire reservoir thickness. Under these assumptions, one can derive an equation, which describes the pressure at any time at any point in the porous medium: the well-known general diffusivity equation. It can be solved analytically under pre-defined conditions.

One of the analytical solutions is the line source solution, which presupposes radial flow in an infinite acting reservoir with a wellbore of zero radius. The line source solution also assumes constant well flow rate at the sandface (Chierici 1994). However, the pressure pulse itself is a rapid transient in pressure, and therefore its effect on the flow from and/or to the reservoir is transient too. Therefore, the reservoir has to be put on flowing at a discrete flow rate history, which has stepwise variation with time (see Figure 1). The flow history is as follows:

Flow rate	Duration
$q_1$	$t_1 - 0$
$q_2$	$t_2 - t_1$
$q_3$	$t_3 - t_2$
...	...
$q_n$	$t_n - t_{n-1}$



**Figure 1.** Time-varying flow rate for use with the principle of superposition in time

Applying the principle of superposition in time to the general solution of diffusivity equation, one can obtain the bottom hole pressure response from:

$$p_{wf}(t_n) = p_i - \frac{1}{2\mu T} \left\{ \sum_{j=1}^n (q_j - q_{j-1}) [p_D(t_D(t_j) - t_D(t_{j-1}))] \right\} \quad (8)$$

where  $p_D(\cdot)$  is the dimensionless form of the line source solution given as

$$p_D(t_D) = \frac{1}{2} E_i \left( \frac{1}{4t_D} \right) \quad (9)$$

by introducing the dimensionless time and the supplementary definitions for the reservoir rock and fluid parameters:

$$\text{Transmissivity:} \quad T = \frac{kh}{\mu} \quad (10.a)$$

$$\text{Storativity:} \quad S = \phi c_t h \quad (10.b)$$

$$\text{Dimensionless time:} \quad t_D = \frac{k}{\phi \mu c_t r_w^2} t = \frac{T}{S r_w^2} t \quad (10.c)$$

with consistent units i.e.  $k$  in  $\text{m}^2$ ,  $h$  in  $\text{m}$ ,  $\mu$   $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ,  $T$  in  $\text{m}^3/\text{Pa}\cdot\text{s}$ ,  $c_t$  in  $1/\text{Pa}$ ,  $S$  in  $\text{m}/\text{Pa}$ ,  $\phi$  in fraction,  $r_w$  in  $\text{m}$  and  $t$  in  $\text{s}$ .

The pipe-flow model calculates pressure and mass rate inside the pipe by using a known pressure boundary condition, which is indeed the bottom hole sandface pressure calculated by the reservoir model. The reservoir model takes the flow rate from the pipe model and calculates the sandface pressure, which is to be used as the boundary condition in the pipe-flow model at the next time step. This step needs to get  $p_{wf}$  from Eq.8 by the known flow rate history (i.e. the flow rates in every time steps).

Since the well is flowing before the pressure pulse test, the reservoir model needs to be put on flow at a known constant rate  $q$  for a given initialization period in order to generate pressure profile in the reservoir. The superposition calculations always start with this prolonged initial flow period over the initial reservoir pressure, which is taken as the pressure at the radius of investigation. The pressure response follows a diffusion type response, which implies that a pressure change at the well would be felt at least infinitesimally everywhere in the reservoir. However, from a practical standpoint there will be some point distant from the well at which the pressure response is so small as to be undetectable. The distance is indeed the radius of investigation. Since its definition depends on arbitrary variation in pressure response, there has been a variety of definitions in the literature. One way is in terms of the time at which the effect of boundaries in a closed reservoir is seen (Horne 1995). This way needs to re-define the dimensionless time based upon reservoir area:

$$t_{DA} = \frac{kt}{\phi \mu c_t A_{res}} \quad \text{or} \quad t_{DA} = \frac{T}{S \pi r_e^2} t \quad (11)$$

If no boundary effect has been seen at a particular time during a test, then the dimensionless time  $t_{DA}$  for the radius of investigation at that moment must be less than 0.1. This basis gives rise to the following expression for radius of investigation:

$$r_{inv} = \left( \frac{T}{0.1\pi S} t \right)^{0.5} \quad (12)$$

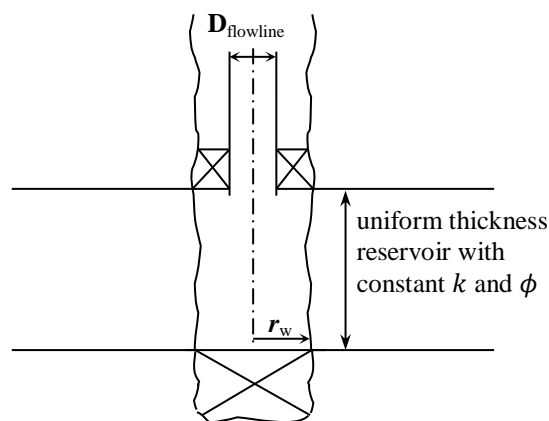
Long enough initialization time (which is a parameter of the reservoir model) guarantees that the pressure transients caused by the pressure pulse cannot reach practically beyond the radius of investigation. Hence, the pressure at this distance does not change practically; it can be used as the initial reservoir pressure for initialization purpose.

## RESULTS AND DISCUSSION

The proposed approach and the developed model is applied, first, on an illustrative case to demonstrate the effect of reservoir parameters on the model response. Afterwards, we performed simulations with two data sets from field tests to estimate reservoir parameters.

### Illustrative Simulation Case Study: Effect of Reservoir Parameters

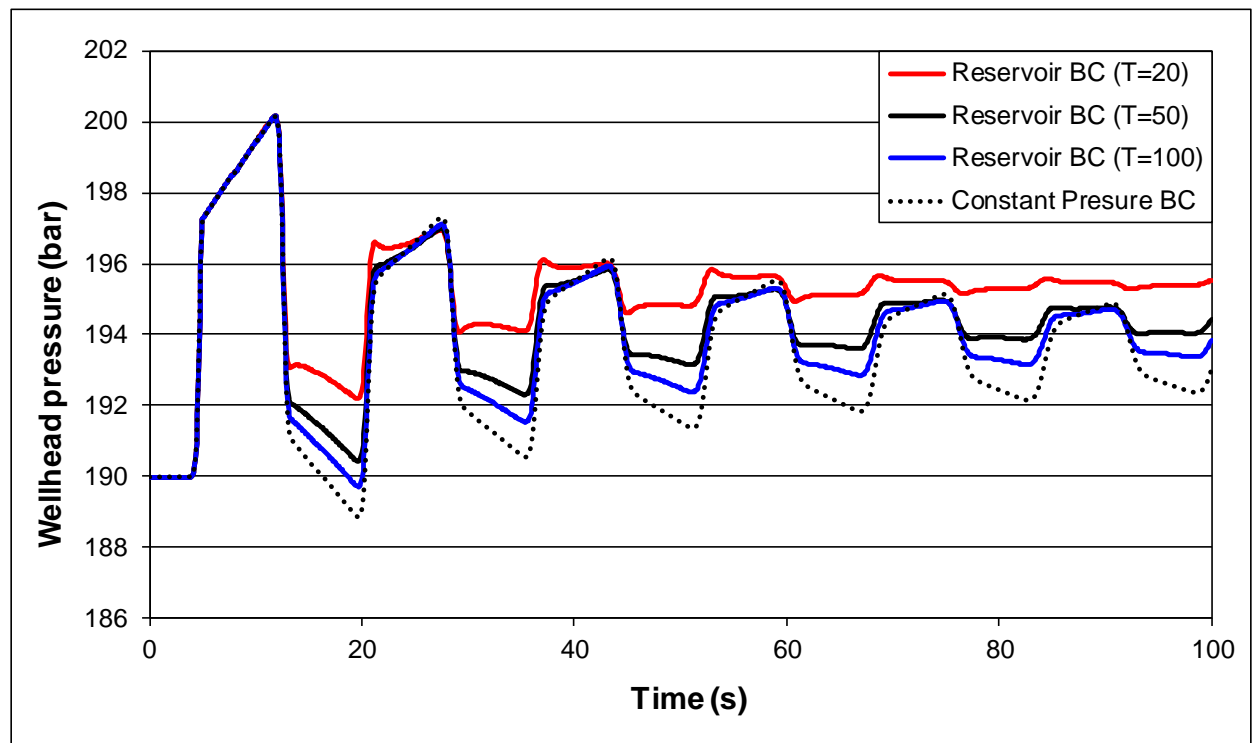
The first series of simulations presented in this paper are carried out to demonstrate the effect of reservoir parameters. A well is producing from a uniform thickness homogenous reservoir at 4000 m depth with constant rate. The well is installed with 3½ in. production tubing (ID 74.2 mm). It is completed as open-hole with the wellbore diameter of 10 cm (see Figure 2). The formation thickness is 50 m. While the well is flowing at a constant rate of 3 kg/s the valve in the wellhead is closed in one second. It is assumed that the fluid parameters remain constant with time and distance; the density is 700 kg/m<sup>3</sup> and the sound velocity is 1000 m/s.



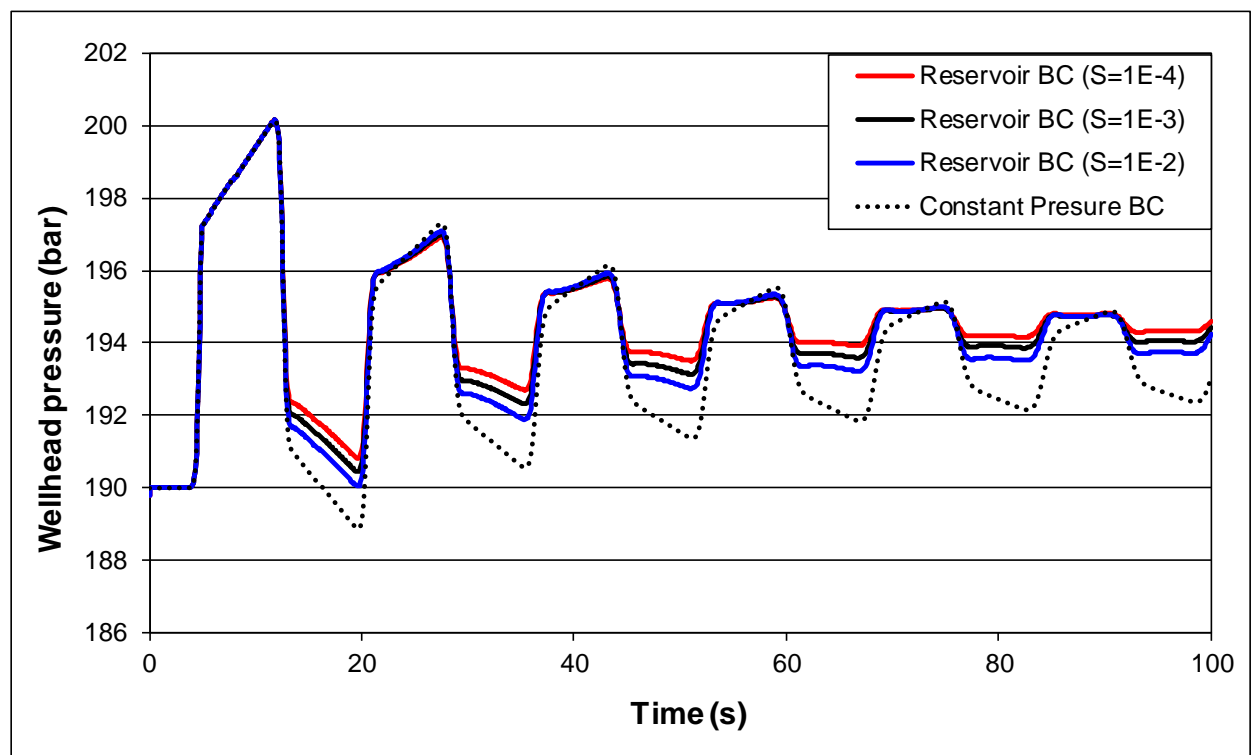
**Figure 2.** Reservoir and well completion for a test simulation

The effect of transmissivity and storativity is investigated with two sets of simulations. The first one is to show the effect of transmissivity while the second one is for the storativity. In each set of simulations, when one parameter is changed the other parameter is kept constant. Simulation results are presented in Figures 3 and 4. These figures compare the simulated wellhead pressures by the different transmissivities and storativities. As seen in Figure 3, decreasing transmissivity causes stronger attenuation of pulse in addition to increasing the average level of reflecting pulse, in other words increasing the level at which the pulse dies out. Moreover, the storativity behaves likewise, i.e. lower the storativity stronger the attenuation, but this parameter is not effective as transmissivity (compare Figure 3 with Figure 4). The reason is obvious that the transient pressure response is linearly related with the inverse of the transmissivity while it is logarithmic with the storativity, therefore the transmissivity is the dominant factor.





**Figure 3.** Wellhead pressures obtained by simulations applying reservoir boundary condition with transmissivities of 20, 50 and 100 Darcy-m/cp respectively and constant storativity of  $10^{-3}$  m/bar

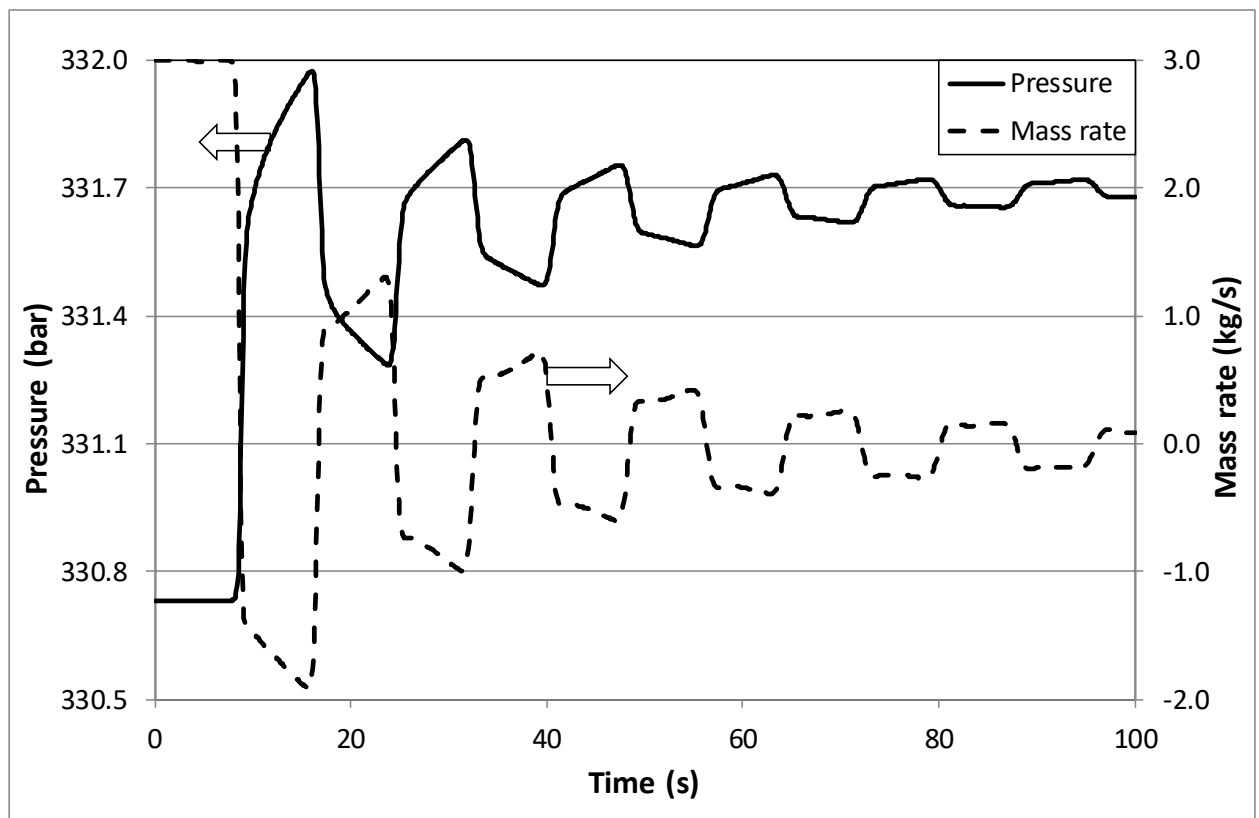


**Figure 4.** Wellhead pressures obtained by simulations applying reservoir boundary condition with storativities of  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  and  $10^{-2}$  m/bar respectively and constant transmissivity of 50 Darcy-m/cp

The pressure-pulse changes the pressure at the sandface, which gives rise to change in inflow from the reservoir. If the reservoir has less resistance to follow the pressure of pulse, it will react more closely

to a huge constant pressure reservoir and will be ready to give as much fluid flow as the pressure-pulse needs to keep the pressure back to its original value. However, if it resists, there will be pressure equalization at sandface, and then the fast transient in pressure will retain the change at least in an infinitesimal extent in the reservoir for some time, which will result in removing some kinetic energy from the pressure-pulse and will cause consecutively the attenuation of pulse. This phenomenon can be seen more at low permeability, low porosity, tight (less compressible) reservoirs.

The simulator provides also the pressure and the mass rate at the bottom hole. Figure 5 illustrates how the pressure builds up after the valve closure and how the flow direction changes due to the pressure wave reflecting back and forth in the production tubing. For this case, the reservoir boundary condition with is applied with the storativity of  $10^{-3}$  m/bar and the transmissivity of 50 Darcy-m/cp. The results show that the sudden valve closure on the surface does not stop the production from reservoir immediately, instead the repeating pressure pulse changes the flow direction and causes swing in the flow direction and the bottom hole pressure which is also reflected on the surface pressure measurement.

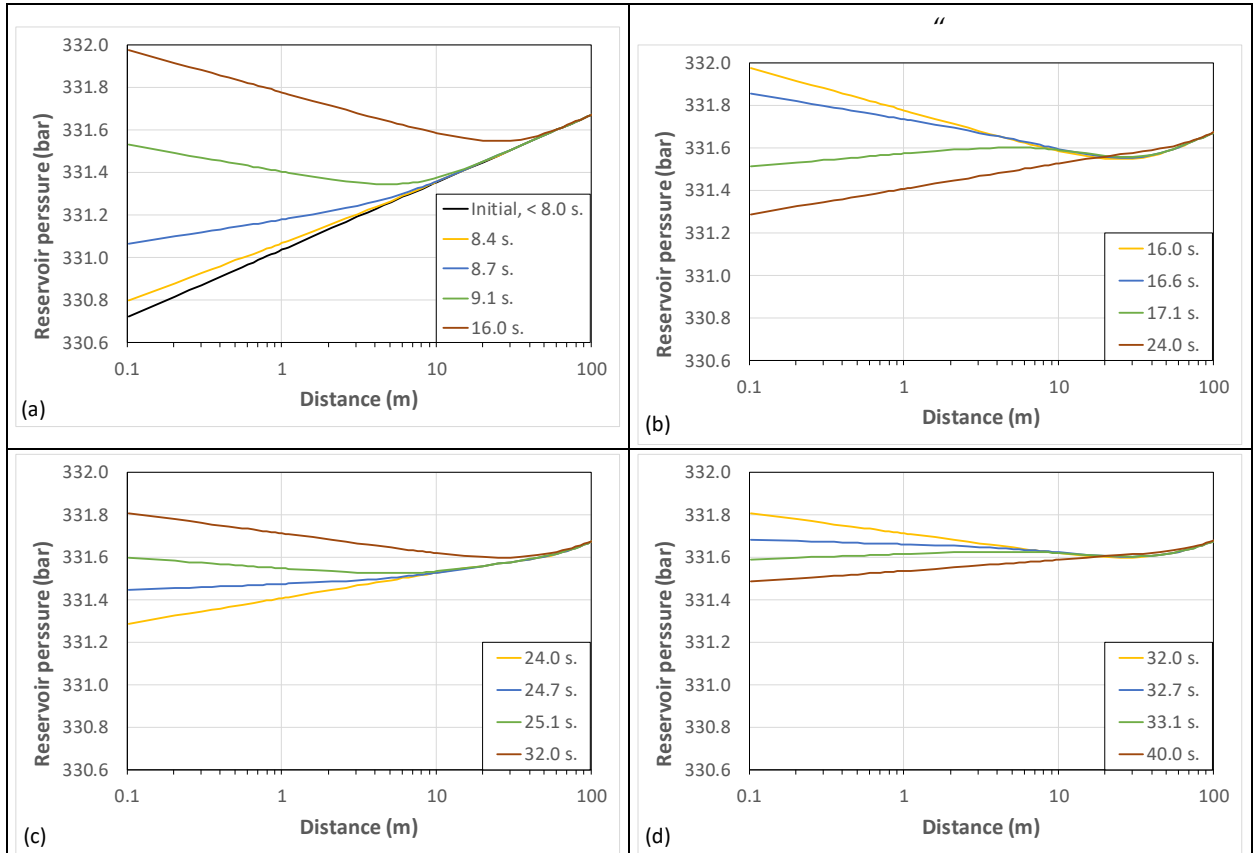


**Figure 5.** Sandface pressure and mass rate obtained by simulation applying reservoir boundary condition with storativity of  $10^{-3}$  m/bar and transmissivity of 50 Darcy-m/cp

Moreover, the developed simulator has a feature to calculate the pressure profile in the reservoir at each time step. Figure 6 shows those profiles at different times again for the reservoir boundary condition with the storativity of  $10^{-3}$  m/bar and the transmissivity of 50 Darcy-m/cp. The profiles clarify what happens inside the reservoir.

The water hammer pressure, which is approximately 7 bars at the wellhead hits the reservoir with a reduced pressure surge (less than one bar, see Figure 5) at around 8<sup>th</sup> second and it increases the sandface pressure 0.9 bar in 1 second (Figure 6.a). Remember that the valve was closed in 1 second. As the pressure wave penetrates into the reservoir, this causes a reverse pressure gradient along a short distance in the reservoir, which is indication of inflow to the reservoir (i.e. changing flow direction).

Note that as the pressure pulse reflects back from the sandface, its phase changes as well (i.e. the pressure pulse becomes a wave with decreasing pressure). This negative pulse travels back into the wellbore. When the pulse reached back to the reservoir for the second time (Figure 6.b), it was actually a wave with decreasing pressure, which results in flow from the reservoir into the wellbore. The sequence of first increasing then decreasing pressure waves repeats until the pressure pulse disappears.



**Figure 6.** Reservoir pressure profiles at different times obtained by simulation applying reservoir boundary condition with storativity of  $10^{-3}$  m/bar and transmissivity of 50 Darcy-m/cp

The pressure profiles indicate another detail that the pressure surge generated by a valve closure results in oscillating behavior of the reservoir pressure. The pressure disturbances can only penetrate several meters into the reservoir for the duration of pressure pulse tests. Therefore, the pressure response at the wellhead should reflect effect of the reservoir properties near the wellbore.

### Field Case Studies

The second set of study is a field case where the pressure pulse method is applied in a single-phase oil production well.

The method has been tested in an oil production well producing from a deep carbonate reservoir. The length of wellbore is 5500 m. A  $3\frac{1}{2}$  in. by  $2\frac{7}{8}$  in. (8.89 mm by 7.30 mm) nominal diameter tapered production tubing string has been run in the well. The smaller diameter tubing is anchored to the surface tubing at 1675 m.

The wellbore had flow assurance solids problem; it has been therefore cleaned up. The pressure pulse tests have been performed before and after the wellbore cleanup operation.

The data set, which is to be discussed first, belongs to the condition after the cleanup operation because the recorded data is longer.

The test results show clearly the water hammer pressure ( $\Delta p_a$ ), and the reflection of the pressure pulse from the location of the tubing diameter change and from the bottom hole (see Figure 7). The pressure measurement has been performed at much higher frequency, however the data presented in the figure is down-sampled to 10 Hz. The first reflection that appears 3.55 seconds later after the water hammer effect is from the diameter change. This reflection repeats once more (attenuating as well); then the reflection from the bottom hole comes at 11.30 seconds. The reflection times provide the average speed of sound for the upper section of the tubing string (943 m/s) and for the whole wellbore (surface to bottom) as 973 m/s. Having calculated the average speed of sounds and considering the calculated values as the speed of sound values at the mean distance of each section, we can obtain the acoustic velocity profile: 930 m/s at the surface and 1016 m/s at the bottom (as a linear profile).

The density of oil is estimated by a PVT correlation as 710 kg/m<sup>3</sup> at the wellhead flowing condition (195 bar, 100°C) and 695 kg/m<sup>3</sup> at the bottom hole flowing condition (approximately 590 bar, 170°C). The oil density profile along the wellbore is considered as a linear variation of the distance from the wellhead.

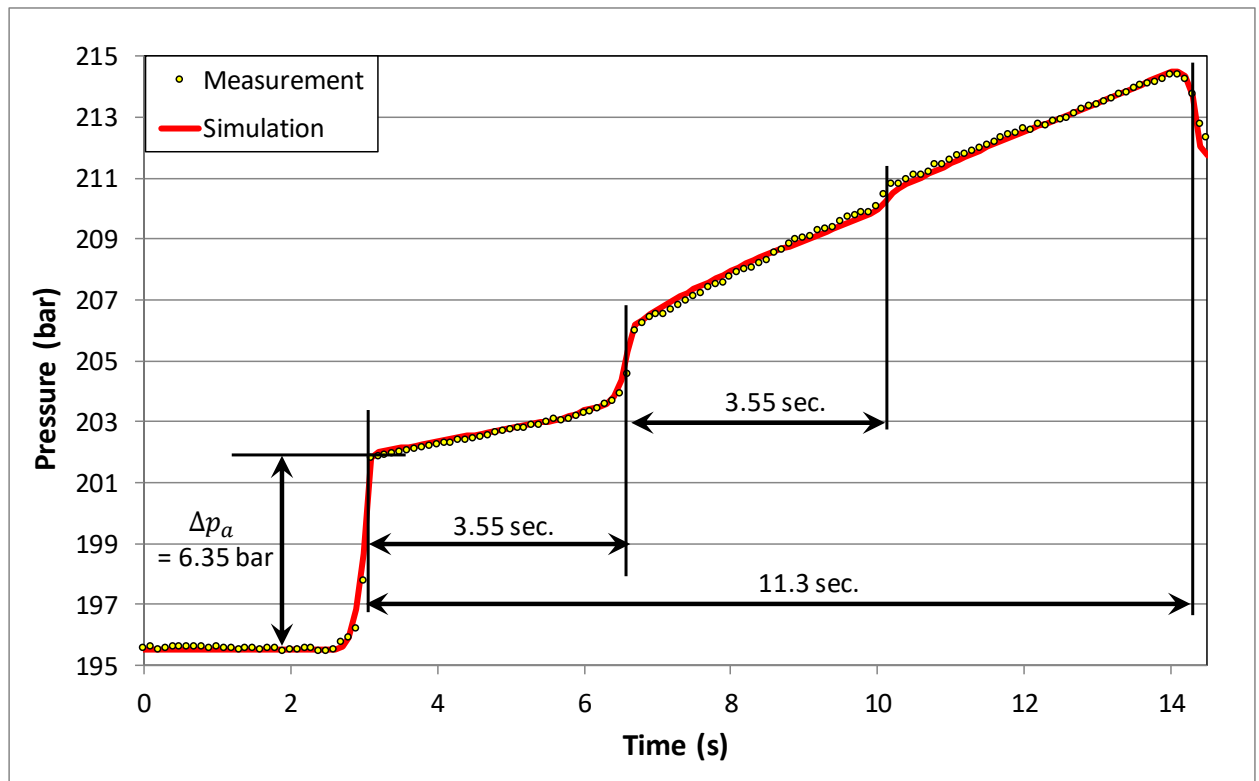


Figure 7. Measured and simulated pressure pulse response at the wellhead

The magnitude of the water hammer pressure is the function of the in-situ acoustic velocity  $c$ , the density of flowing fluid  $\rho$ , and the fluid flowing velocity  $v$  as stated by the Joukowski equation:

$$\Delta p_a = \rho v c \quad (13)$$

Since the mass flow rate  $m$  in a pipe with a constant cross-sectional area  $A$  is  $\rho v A$  it can also be found directly from the following relationship utilizing the Joukowski equation:

$$m = \Delta p_a \frac{A}{c} \quad (14)$$

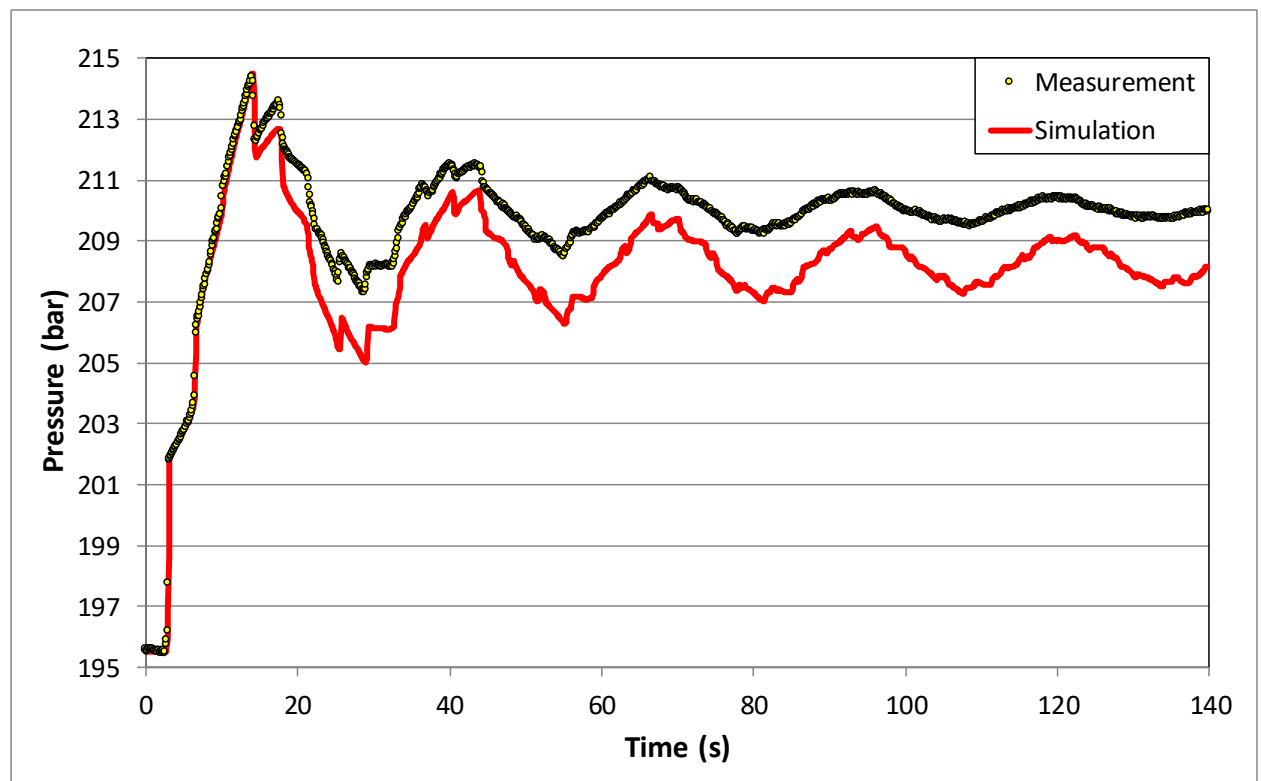
provided that the speed of sound,  $c$  and the water-hammer pressure,  $\Delta p_a$  are obtained from measurements.

The inside diameter of the surface tubing (3½ in. OD) is 74.2 mm. The water hammer pressure is measured as 6.35 bar (see Figure 7). The speed of sound at the surface is estimated as 930 m/s. Therefore,

the mass rate before the valve closure (which is used as the initial flow rate in the simulations) is calculated as 2.95 kg/s from Eq. 14.

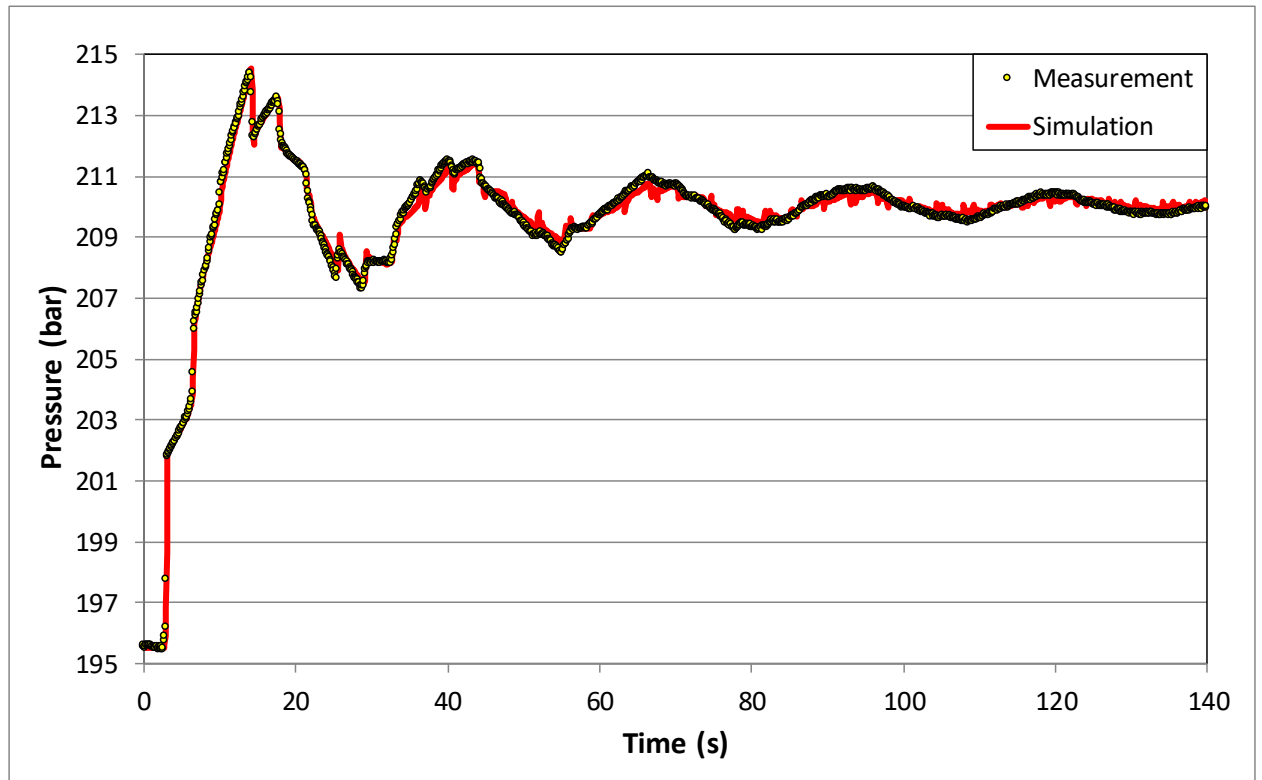
The transient fluid flow model is used to simulate the case for which the input data are described above. Due to deposition on pipe walls, the flow diameter and the friction factor are the parameters to be adjusted to match the simulation results to the wellhead pressure measurement.

In addition, in order to have a well-posed problem a proper boundary condition at the bottom hole has to be applied. For the matching study to estimate deposition, we applied the constant bottom hole pressure boundary condition. We successfully matched the simulation results to the measurements as seen in Figure 7 by introducing a deposition of 1 mm in average along the upper section of the lower tubing string. However, the match was only for couple of seconds (or reflections); afterwards the deviation starts when the simulation runs for a long time (see Figure 8).



**Figure 8.** Measured and simulated pressure pulse response at the wellhead (simulation is performed using the constant bottom hole boundary condition)

The pressure pulse data is history-matched by changing iteratively the transmissivity and the storativity until the discrepancy becomes sufficiently small. In other words, when the reservoir model with appropriate values of transmissivity and storativity is used as the bottom hole boundary condition, a good match is obtained for overall simulation time. Figure 9 presents the match, which was obtained with the transmissivity of 25 Darcy-m/cp and the storativity of  $4.3 \cdot 10^{-4}$  m/bar. Although we are not able to compare these values with field data, the storativity value is a reasonable number, and the transmissivity is in the very acceptable range for carbonate rocks with fractures.



**Figure 9.** Measured and simulated pressure pulse response at the wellhead (simulation is performed using the reservoir model as the bottom hole boundary condition)

In the frame of testing campaign, another pressure pulse test has been also performed before the cleanup operation. The second set of field data is from this case. Although it is shorter, it can be still analyzed for the same purpose with the same approach explained earlier (see Figure 10). The first reflection, which is from the diameter change, appears 3.75 seconds after the hammer effect, though the reflection from the bottom hole comes at 11.70 seconds. Using those reflections, we obtain the acoustic velocities as 873 m/s at the surface and 1008 m/s at the bottom with linear variation assumption. The densities at the surface and the bottom hole are calculated as 709 and 695 kg/m<sup>3</sup> respectively. The water hammer pressure is measured as 7.4 bar. The mass rate is calculated 3.66 from Eq. 14. In order to match the simulation results to the measured data we slightly adjusted the mass rate (3.62 kg/s) and introduced a deposition of 4 to 5 mm in almost whole lower tubing string. We obtained a successful match as seen in Figure 10.

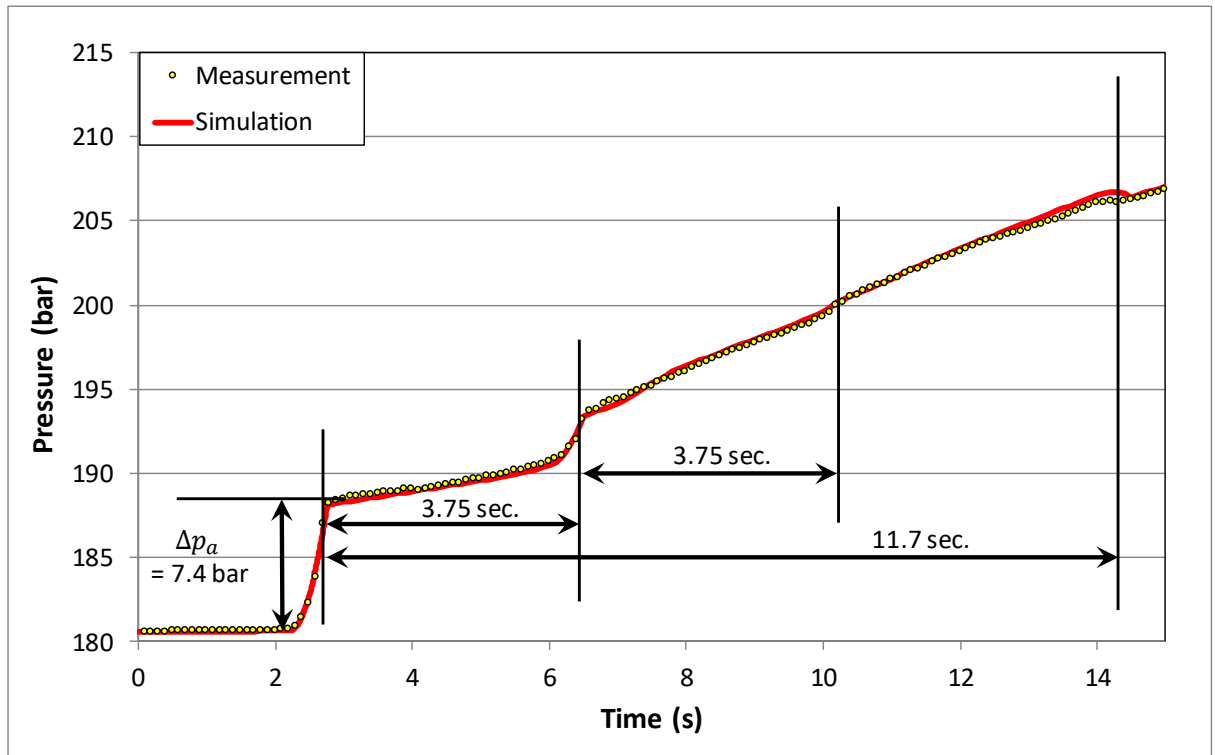


Figure 10. Measured and simulated pressure pulse response at the wellhead (before cleanup operation)

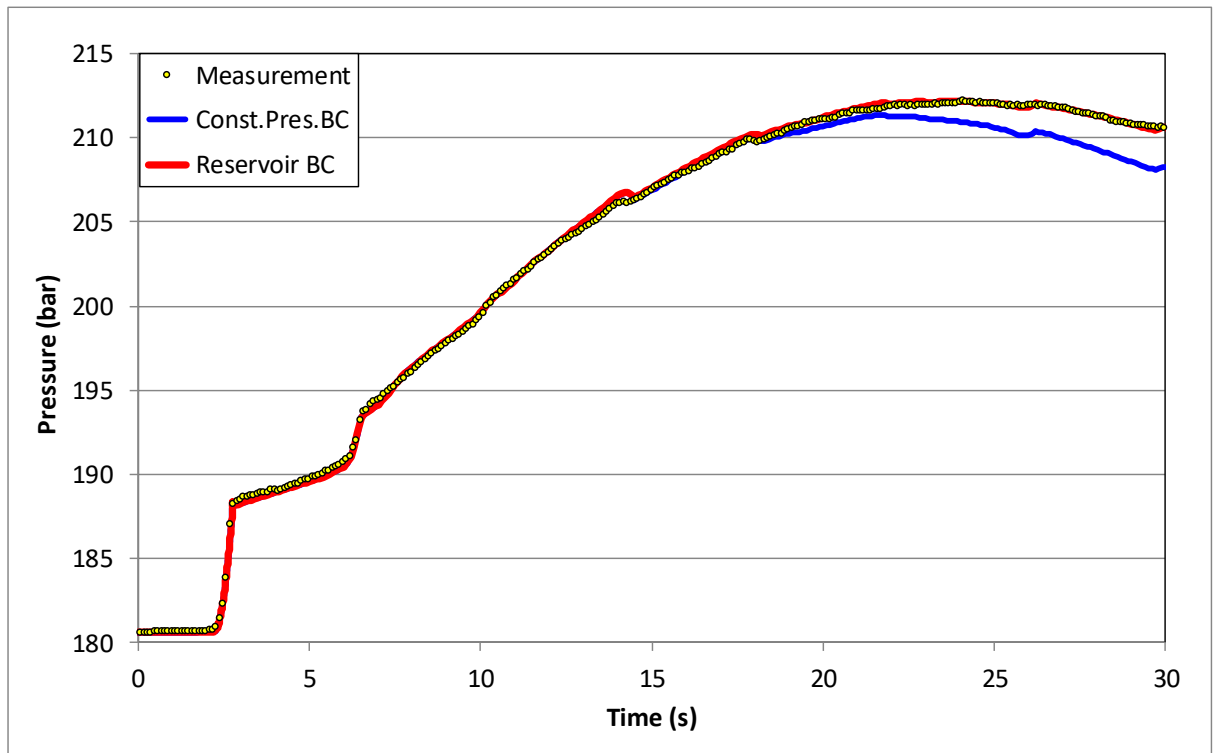


Figure 11. Comparison of simulated pressure pulse responses at the wellhead using the reservoir model and the constant pressure boundary conditions with the measured data

As we have seen in the previous case, when the constant pressure boundary condition is used, we obtain a good match only for the first reflections. Then the simulation results deviate from the measurements (see the blue line in Figure 11).

The pressure pulse test before the cleanup operation has been performed at a higher flow rate and reduced diameter (due to deposition), which induces more frictional pressure drop. Although this test has obvious different flow condition than the one observed in the previous analysis, we still obtain a good match when the reservoir is modelled with very similar transmissivity and storativity values, i.e.  $T=23$  Darcy-m/cp and  $S=4.0 \cdot 10^{-4}$  m/bar. This suggests confirmation for reservoir parameters estimation by matching analysis, though we are not able to compare the values with field data.

## CONCLUSIONS

Transient pipe flow model was developed to be coupled to an analytical transient reservoir model.

The transient pipe flow model solves the partial differential equations describing propagation of pressure pulse by a hyperbolic equation solver.

The transient analytical reservoir model is an analytical solution to the general diffusivity equation, which applies the principle of superposition in time to the line source solution of the diffusivity equation.

The coupled models were used to analyze field data from a single-phase oil well. The field data consists of rapid pressure measurements at the wellhead due to valve closure.

History matching approach is used to match the simulated pressure history to the measured pressure data at the wellhead. The reservoir parameters transmissivity and storativity in the near wellbore region were obtained from the history matching analysis.

Matching analysis of two sets of test data from different flowing conditions resulted in the same reservoir parameters.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to acknowledge the support of this work by Markland Technology AS and by Eni, for having sponsored the project "Study of Monitoring and Removal of Deposits in Wells" in which the field data have been acquired. The project was possible also thanks to the contribution of Eni colleagues Vittorio Rota, Gilberto Toffolo and Martin Bartosek.

## REFERENCES

- Carey, M. A., Mondal, S., and Sharma, M. M., 2015. Analysis of Water Hammer Signatures for Fracture Diagnostics, SPE Paper 174866 presented the SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Houston, Texas, USA, 28–30 September 2015.
- Chevray, R. and Mathieu, J., 1993. Topics in Fluid Mechanics, Cambridge University Press.
- Chierici, G. L., 1994. Principles of Petroleum Reservoir Engineering Volume 1, Springer-Verlag Berlin.
- Falk, K. 1999. Pressure pulse propagation in gas-liquid pipe flow: modeling, experiments, and field testing, Ph.D. dissertation, NTNU, Trondheim.
- Home, R.N., 1995. Modern Well Test Analysis, A Computer Aided Approach, 2nd edition, Petroway Inc., USA.
- Howe, M. S., 2006. Hydrodynamics and Sound, Cambridge University Press.
- Ghidaoui, M. S., Zhao, M., McInnis D. A., and Axworthy, D. H., 2005. A Review of Water Hammer Theory and Practice. Applied Mechanics Reviews 58(1), 49-76.
- Gudmundsson, J. S. and Celius, H. K., 1999. Gas-Liquid Metering Using Pressure-Pulse Technology. SPE Paper 56584, Annual Technical Conference and Exhibiton, Houston, 3-6 October 1999.
- Gudmundsson, J. S., Durgut, I., Celius, H. K. and Korsan, K., 2001. Detection and Monitoring of Deposits in Multiphase Flow Pipelines Using Pressure Pulse Technology. 12th International Oil Field Chemistry Symposium, Geilo, 1-4 April 2001.
- LeVeque. R. J., 2002. Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems. Cambridge University Press.



- Livescu, S., Watkins, T. J., 2014. Water Hammer Modeling in Extended Reach Wells. Paper SPE 168297 presented SPE/ICoTA Coiled Tubing & Well Intervention Conference and Exhibition, The Woodlands, TX, USA, 25-26 March 2014.
- Mambretti, S., 2014. Water Hammer Simulations. WIT Press, Southampton, Boston.
- Prümmer, R. 2009. History of Shock Waves, Explosions and Impact – A Chronological and Biographical Reference, Peter O. K. Krehl. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 34: 458.
- Santarelli, F.J., Skomedal, E., Markestad, P., Berge, H.I., Nasvig, H., 2000. Sand Production on Water Injectors: Just How Bad Can It Get? SPE Drill. & Compl 15(2): 132.
- Vaziri, H., Nouri, A., Hovem, K., Wang, X., 2007. Computation of Sand Production in Water Injectors. Paper SPE 107695 presented at the European Formation Damage Conference, Scheveningen, 30 May-1 June 2007.
- Wang, X., Hovem, K., 2008. Water Hammer Effects on Water Injection Well Performance and Longevity. Paper SPE 112282 presented at the SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, 13-15 February 2008.
- Zazovsky, A., Tetenov, E. V., Zaki, K. S. and Norman W. D., 2014. "Pressure Pulse Generated by Valve Closure: Can It Cause Damage?" Paper SPE 168191 presented at SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control held in Lafayette, Louisiana, USA, 26–28 February 2014.

## NOMENCLATURE

$A$	Cross-sectional flow area of pipe ( $\text{m}^2$ )	$q$	Volumetric sandface flow rate ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$c$	Speed of sound ( $\text{m}/\text{s}$ )	$r_w$	Wellbore radius ( $\text{m}$ )
$c_t$	Total rock compressibility ( $1/\text{Pa}$ )	$t$	Time ( $\text{s}$ )
$D$	Flow diameter ( $\text{m}$ )	$t$	Time ( $\text{s}$ )
$f$	Darcy-Weisbach friction factor	$T$	Transmissivity (Darcy- $\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$ and $\text{m}^3/\text{Pa}\cdot\text{s}$ )
$g$	Acceleration of gravity ( $\text{m}/\text{s}^2$ )	$v$	Cross-sectional average fluid flow velocity ( $\text{m}/\text{s}$ )
$h$	Reservoir thickness ( $\text{m}$ )	$x$	Direction along the pipe ( $\text{m}$ )
$k$	Permeability (Darcy and $\text{m}^2$ )	$z$	Opposite direction of gravity ( $\text{m}$ )
$m$	Mass flow rate ( $\text{kg}/\text{s}$ )	$\mu$	Viscosity of fluid ( $\text{cp}$ and $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )
$S$	Storativity ( $\text{m}/\text{Pa}$ )	$\phi$	Porosity (fraction)
$p$	Pressure ( $\text{Pa}$ )		



## GÜÇLENDİRME TEKNİĞİ OLARAK YENİ NESİL ÖN ÜRETİMLİ BETON PANEL UYGULAMASININ ARAŞTIRILMASI

<sup>1</sup>Ceyhun AKSOYLU, <sup>2</sup>Nail KARA

<sup>1,2</sup> Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Selçuklu, Konya, Türkiye.  
<sup>1</sup>caksoylu@ktun.edu.tr, <sup>2</sup>nkara@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 15.11.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 25.12.2018)

**ÖZ:** Bu çalışmada, bina sakinlerinin binayı terk etmelerine gerek kalmadan uygulanabilecek bir güçlendirme yöntemi araştırılmıştır. Bu amaçla, özellikle (ülkemizdeki) mevcut betonarme binalarda sıklıkla görülen hatalara sahip olarak üretilen 1/3 ölçekli, deprem dayanımı zayıf, iki katlı ve tek açıklıklı güçlendirilmemiş tuğla dolgu duvarlı bir adet betonarme çerçeve referans numune olarak üretilmiştir. Ayrıca referans numune ile aynı özelliklere sahip 1 adet betonarme çerçeve dolgu duvarları, önüretimli yüksek dayanımlı yeni çapraz beton paneller ile güçlendirilerek deprem etkisini benzeştiren tersinir – tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışları test edilmiştir. Deneysel sonuçları, SAP2000 v17.3’de yapılan analitik çalışma ile karşılaştırılmış olup uygulanan tekniğin deney elemanlarının enerji yutma kapasitelerini artırdığını ve deprem davranışlarını iyileştirdiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme dolgu duvar, Güçlendirme, Önüretimli yeni çapraz beton panel.

### Investigation of New Generation Precast Concrete Panel Applications as Reinforcement Technique

**ABSTRACT:** In this study, a strengthening method that can be applied without building occupants having to leave the building was investigated. For this purpose, a reinforced concrete frame, which is 1/3 scaled, low-strengthened against earthquake, has two-story and single span unreinforced brick infilling wall, has been produced with failures frequently seen especially in concrete buildings of our country as reference sample. Moreover, strengthening three reinforced concrete infilled frame wall having same features with reference sample by new diagonal concrete panels which are precast, high strengths in different shapes, their behaviors under reversible-repeatable horizontal loading simulating earthquake effect have been tested. Results of the experiment have been compared with the analytic study used in SAP2000 v17.3 and it has been observed that applied technique has increased the energy dissipation capacity of test elements and improved the earthquake behaviors.

**Key Words:** Infill Wall, Precast New Diagonal Concrete Panels, RC frame

### GİRİŞ (INTRODUCTION)

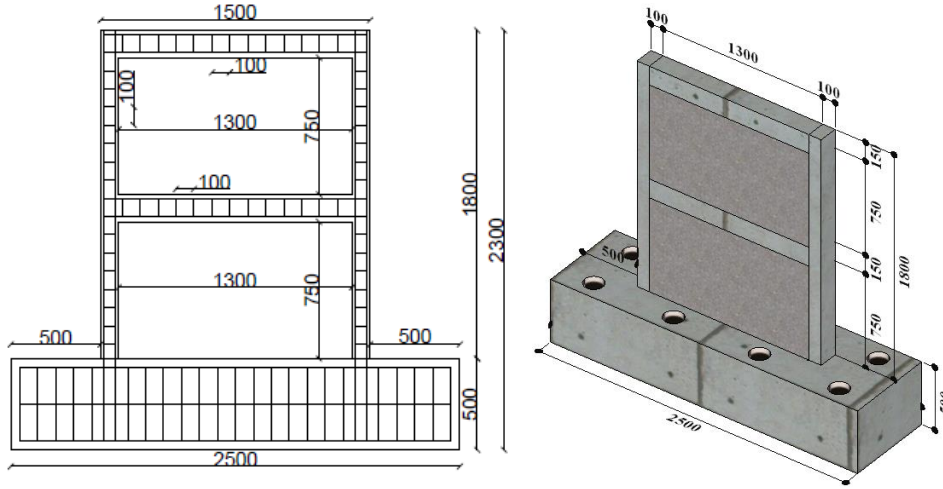
Ülkemizdeki mevcut betonarme binaların çoğunluğunun deprem bölgeleri haritasına göre 1. ve 2. derece deprem bölgesinde olduğu bilinmektedir. Bununla beraber mevcut yapıların çoğunda bölme duvarı olarak tuğlanın kullanılması da bir hayli yaygındır. Yapılan statik hesaplarda tuğla dolgunun yalnızca zati(ölü) yük olarak dikkate alınması depreme karşı yapısal özelliklerine katkısının düşünülmemesi de önemli bir sorundur. Dahası, literatürde yapılan deneysel ve analitik çalışmalar incelendiğinde, dolgu duvarların depreme karşı yapı tasarımında dikkate alınması gerektiği açıkça görülmektedir (Baran, 2012; Marjani, 1997). Diğer taraftan göçen veya ağır hasar alan yapıların büyük çoğunluğunun perde gibi yanal rijitliği artıracak elemanlardan yoksun, yalnızca kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sistemlerden oluşu yapıların depreme karşı yeterli yanal dayanıma sahip olmadığını da göstermektedir. Yapıların depreme karşı güçlendirilmesinin önemi özellikle Türkiye’de 1992 yılında

meydana gelen Erzincan depremi sonrası iyice anlaşılmış olup, günümüze kadar yapılan farklı güçlendirme tekniklerinin geliştirilmesi ile de daha iyi bir duruma getirilmiştir. Bu amaçla yapıya yanal rijitlik kazandıracak yerinde dökme betonarme perde duvarlar en etkili ve güvenilir sistem iyileştirme tekniği olarak günümüzde hâlen kullanılmaktadır (Ersoy ve Uzsoy, 1971; Zhang ve Wang, 2000). Ancak yapılan bu uygulamanın en önemli eksiği inşaat işinin ağır, uzun ve maliyetli olmasından dolayı bir hayli zahmetli ve yorucu olmasıdır. Bu sebeple araştırmacılar yapısal olarak etkili, hızlı çözüm üreten ve ekonomik güçlendirme teknikleri geliştirmeye yönelmişlerdir. Bu teknikler arasında, Karbon lifler (CFRP) (Binici ve diğ., 2007; Kara ve diğ., 2015; Kara ve diğ., 2016; Akın ve diğ., 2016; Kara ve diğ., 2017), çelik lif katkılı sıva (Sevil ve diğ., 2011), çelik şeritler (Perera, 2004; Akın ve diğ., 2016), hasır donatılı püskürtme beton (Acun ve Sucuoğlu, 2005), epoksi ve harç enjeksiyonu (ElGawady ve diğ., 2004), çimento esaslı kompozit malzemeler (Kesner ve Billington, 2005) önüretimli yüksek dayanımlı beton paneller (Frosch ve diğ., 1996; Baran ve Tankut 2011; Akın, 2011; Akın ve Sezer, 2016) ile güçlendirme bunlardan bazıları olarak sayılabilir.

Bu çalışmada hedeflenen ise; pratik, kolay uygulanabilir, ekonomik ve yapı içinde yaşayanlara rahatsızlık vermeyen bir teknikle betonarme yapıları depreme karşı güçlendirebilecek alternatif yeni nesil bir yöntem geliştirmektir. Literatürde yapılan önüretimli paneller ile güçlendirme çalışmaları arasında, tarafımızca geliştirilen paneller yerleşim şekli bakımından özgündür. Yapılan çalışmanın diğer güçlendirme yöntemlerinden en önemli farkı ise dolgu duvarlar ile kaplı tüm yüzeyin önüretimli paneller ile kaplanması şeklinde olmayıp deprem esnasında dolgu duvarların çalışma doğrultusuna gelecek şekilde önüretimli yeni nesil çapraz beton panellerin yerleştirilmesi ile güçlendirmenin yapılmasıdır. Bu doğrultuda TDY-2007 yönetmeliği kapsamında yapılan bu çalışmada, 1/3 ölçekli dolgu duvarlı betonarme çerçeveye çapraz panel yerleşim şekli ve ankraj detayları uygulanarak güçlendirme yönteminin etkinliği araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları da SAP2000 v.17.3'den elde edilen analitik çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

## MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada 1 adet referans ve 1 adet güçlendirilmiş olmak üzere toplam 2 adet deney numunesi üretilmiş olup depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler etkisi altında test edilmiştir. Deney numunelerinde kullanılan tuğla piyasada kolayca temin edilebilen 85x190x190 mm ebatlarında olan ve 8.5'luk olarak bilinen yatay delikli tuğlalardır. İmalat sırasında örülen duvarlar boyutları 750 mm yüksekliğinde ve 1300 mm (1/3 ölçekli) genişliğinde olacak şekildedir. Duvarların her bir yüzü çimento kireç karışımı harçla yaklaşık sıva kalınlığı 8-10 mm ve basınç dayanımı 1.5-2 MPa olacak şekilde sıvanmıştır. Her duvarın ilk ya da son sırasını oluşturan yarım tuğlalar, delikleri düşey olacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 1'de numunelerin boyutları ve donatı şeması verilmiştir. Panel donatısı olarak kullanılan hasır donatı çubuklarının çapı 2 mm ve her bir göz aralığı her iki yönde 20 mm olarak seçilmiştir. Panellerin üretilmesinde, yüksek mukavemetli olması, panel kalınlıklarının az olmasından dolayı betona göre daha homojen bir karışım elde edebilmek ve kalıptan çıkarırken parçalanma olmaması düşünülerek piyasadan kolayca elde edilebilecek Grout harcı kullanılmıştır. Panellerin duvara ve ankraj demirlerinin çerçeve elemanlarına ankrajında ise, yüksek dayanımlı iki karışımlı epoksi esaslı yapıştırıcılar kullanılmıştır. Referans deney numunesi her iki yüzüne sıva uygulanarak hazırlanmış ve hiçbir şekilde güçlendirilmemiştir. Deney elemanlarının ve yüksek dayanımlı panellerin hazırlanışı aynı zamanda olduğundan harç-sıva dayanımları ve panel beton dayanımları kendi içinde farklılık göstermemektedir.



**Şekil 1.** Deney elemanlarının boyutları ve donatı şeması, boyutlar mm'dir.  
*Figure 1. Dimension of Test Specimens, Dimensions are in mm*

Çerçeve numunelerinin kirişlerinde basınç ve çekme bölgesindeki donatı oranları sabit tutulmuş olup pas payı 10 mm alınmıştır. Olabildiğince piyasadaki mevcut yapıyı temsil etmesi için kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamıştır. Kirişlerde alt ve üst donatılar, kolon dış yüzüne kadar uzatılmış ve bu noktadan itibaren  $14\phi$  (140 mm) uzunluğunda aşağı ve yukarı doğru bükülmüştür. Şekil 2'de kiriş, kolon ve temel elemanlarına ait kesitler, Çizelge 1'de ise deney çerçevelerinde kullanılan donatının mekanik özellikleri verilmiştir.

Kiriş	Kolon	Temel
<p>Donatı: 6Ø10 Etriye: Ø4/100 mm</p>	<p>Donatı: 4Ø10 Etriye: Ø4/100 mm</p>	<p>Donatı: 8 Ø 16 Etriye: Ø 8/100 mm</p>

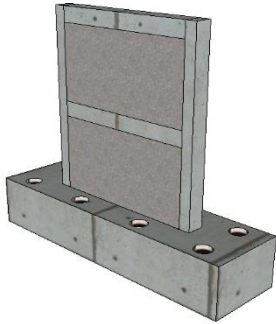

**Şekil 2.** Çerçeve numune elemanlarının en kesit ve donatı detayları  
*Figure 2. Cross-section and Reinforcement Details of Test Frame Members*

**Çizelge 1.** Donatı çubuklarının özellikleri*Table 1. Characteristics of reinforcing bars*

Donatı Çapı (mm)	Akma Dayanımı $f_{yk}$ (MPa)	Maksimum Çekme Dayanımı $f_{su}$ (MPa)	Donatı Türü ve Kullanıldığı Yerler
$\phi 4$	294	387	S220, Düz, Kolon Kiriş Enine Donatıları
$\phi 8$	407	496	S420, Nervürlü, Temel Enine Donatıları
$\phi 10$	418	512	S420, Nervürlü, Kolon, Kiriş Boyuna donatıları
$\phi 16$	427	508	S420, Nervürlü Temel Donatıları

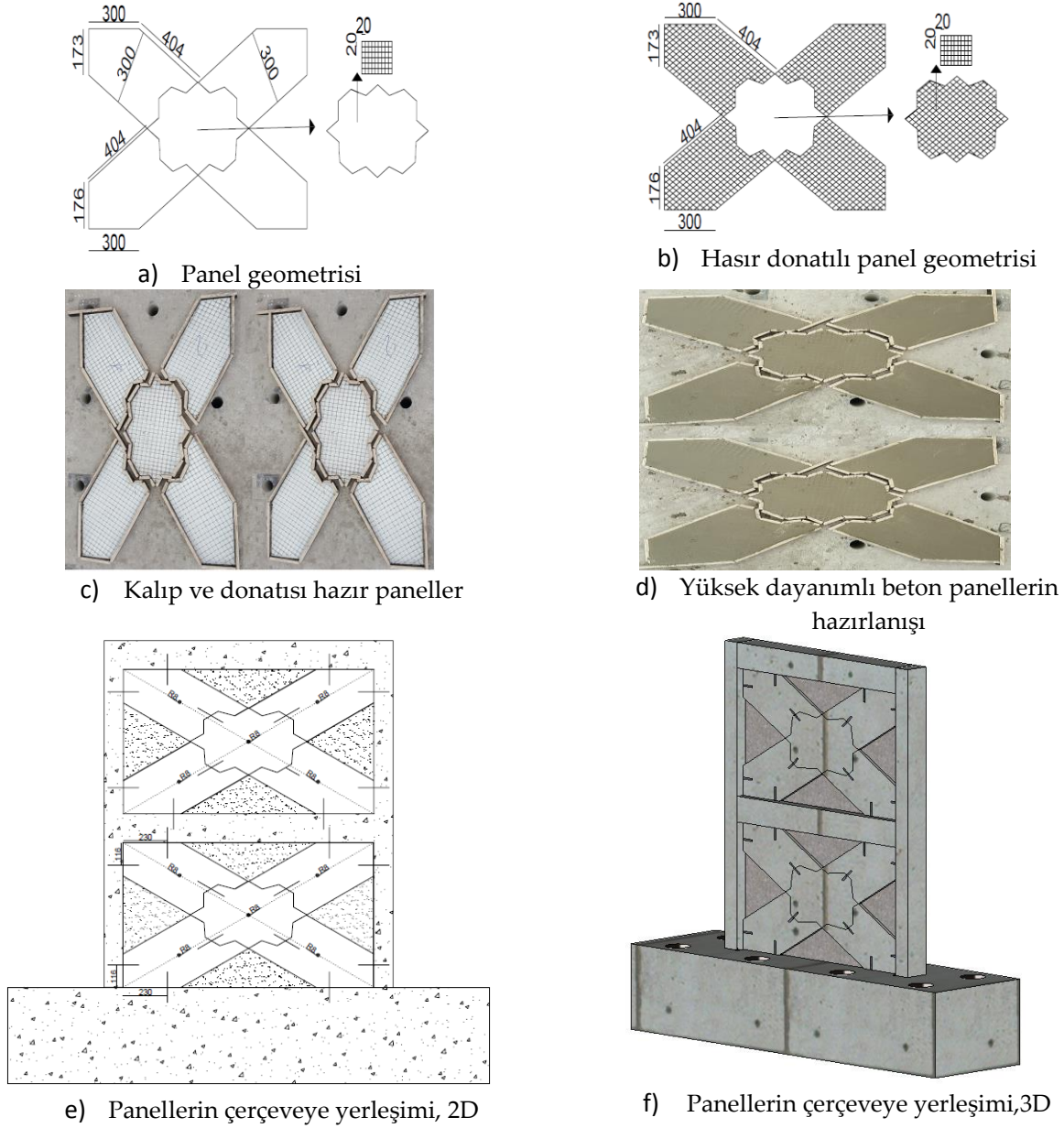
Yapılan bu çalışma kapsamında çerçeveyi güçlendirme amaçlı 1 adet önüretimli yeni nesil çapraz beton panel üretilmiştir. Panel kalınlıklarının ve panellerin çerçeve elemanlarına ankrajında TDY-2007'de [TDY-2007] verilen minimum koşullar 1/3 ölçekteki deney numunelerine uygun olarak seçilmiştir. Çizelge 2'de deney programında yer alan numunelere ait şekiller ile beton dayanım değerleri verilmiştir.

**Çizelge 2.** Deney numunelerinin özellikleri*Table 2. Test Specimens Characteristics*

Deney Numunesi No:	Çerçeve Türü	$f_c$ (MPa)		Deney Numunelerinin Özellikleri
		Çerçeve	Önüretimli panel	
Deney No:1 Referans Numune (RN)		17.13	-	Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve
Deney No: 2 X Tipi Panelli Numune (X-TPÇ)		17.55	44.20	Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + Diagonal X Çapraz Panellerle Güçlendirilmiş Çerçeve

Çizelge 2'de yerleşim şekilleri gösterilen önüretimli yeni nesil diyagonal beton paneller, 300 mm genişliğinde ve 20 mm kalınlığında olacak şekilde sıva üzerine yaklaşık 3 mm kalınlığında epoksi yapıştırıcısı ile yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Ayrıca önüretimli paneller her bir katta diyagonal olarak 4 adet ve tam merkezde olan 1 adet panelden oluşmaktadır. Panellerin bağlantı bölgelerinde 1 adet ve

her bir panelin duvara bağlantısında 1 adet  $\Phi 8$  çaplı ankrajlar TDY-2007'deki ankraj boyları dikkate alınarak duvara sabitlenmiştir. Merkezde yer alan panelde dış yapılarak kayma etkileri azaltılmış olup panellerin düzlem dışı hareket yapmaması amaçlanmıştır. Güçlendirilmiş deney elemanlarının detayları Şekil 3'de verilmiştir.

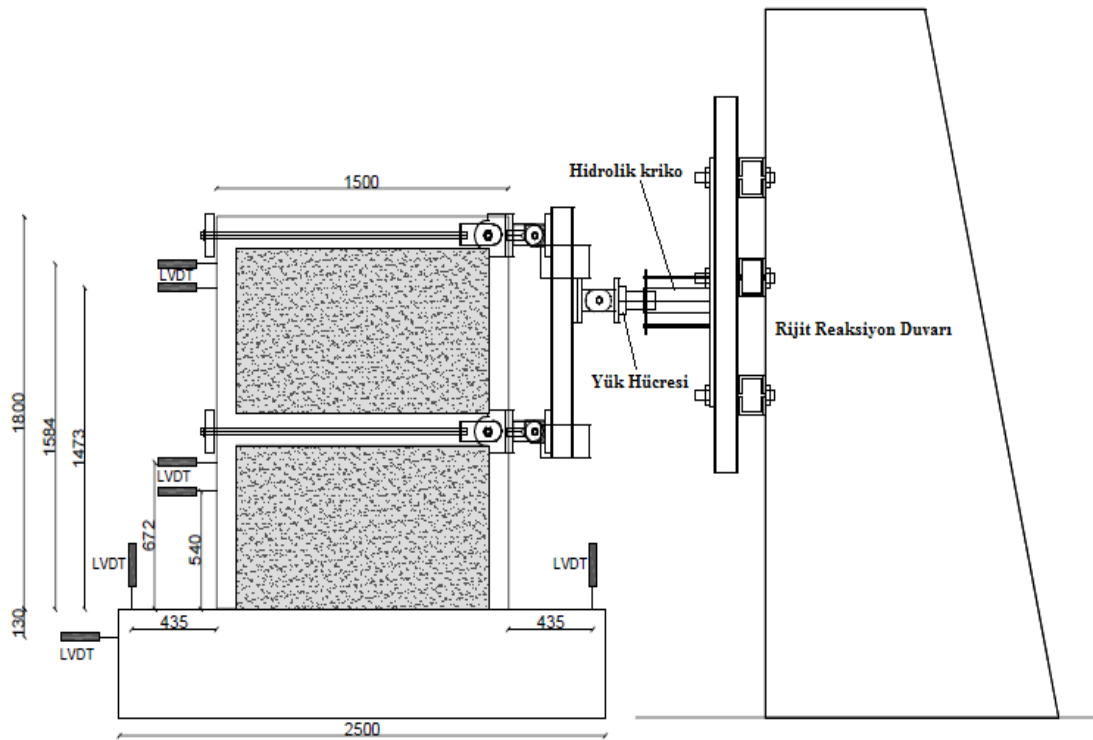


Şekil 3. Panellerin boyutları ve detayları

Figure 3. Dimensions and Details of the Panels

Detayları Şekil 3'de verilen elemanlardan ilki (RN) referans numunedir. RN güçlendirilmemiş yalnızca sıvalı duvardan oluşmaktadır. X-TPÇ numunesi ise, duvarın köşegen uzunluğu boyunca yerleştirilmiş ve dayanımı 44.20 MPa olan yüksek dayanımlı beton paneller ile güçlendirilmesinden oluşmaktadır. Her bir panel epoksi ile duvara yapıştırılmış ve her panelin çerçeveye sabitlenmesi 2 adet  $\Phi 8$ 'lik ankraj yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca panel birleşim bölgelerinde  $\Phi 8$  ankraj donatısı her iki panelin içerisine 80 mm girecek şekilde sabitlenmiştir. Ankraj ekim aşamasında ankrajların daha etkin olabilmesi için açılan ankraj delikler hava ile temizlenmiştir.

Deneyler, Konya Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem laboratuvarında bulunan güçlü betonarme duvar ve güçlü betonarme döşemeden oluşan rijit deney platformu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Temel kirişi rijit ve deney elemanı için ankastre mesnet şartlarını olabildiğince sağlayabilecek şekilde laboratuvar döşemesine ön gerilme ile bağlanmıştır. Deney numunelerine hidrolik kriko yardımıyla çekme veya basınç olarak uygulanan yatay yük, yük hücreleri yardımıyla okunmuştur. Deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük alt kata 1 ve üst kata 2 birim gelecek şekilde 1/2 oranında uygulanmıştır. Deneylere yük kontrollü olarak başlanıp, sistemin nominal akma yükü değerinden sonra deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Sistemdeki yer değiştirme ölçümleri lineer deplasman ölçerler (LVDT) ile sağlanmıştır. Yapılan tüm ölçümler bir bilgisayar da depolanmış ve yük-deplasman grafikleri izlenerek takip edilmiştir. Şekil 4'de deprem laboratuvarında yapılan ölçüm düzeni gösterilmiştir. Deney numuneleri üzerinde düşey yük etkisi ihmal edilmiştir. Bu durum deney numunelerinin sünekliğini bir miktar artıracak olup, yatay yük seviyesini azaltacak olsa da bütün deneyler için aynı şartların geçerli olması ve panellerin davranışının incelenmesi amaçlandığından karşılaştırmalar bu şekilde yapılmıştır.



Şekil 4. Yükleme ve Ölçüm Düzenği

Figure 4. Loading and Measurement System

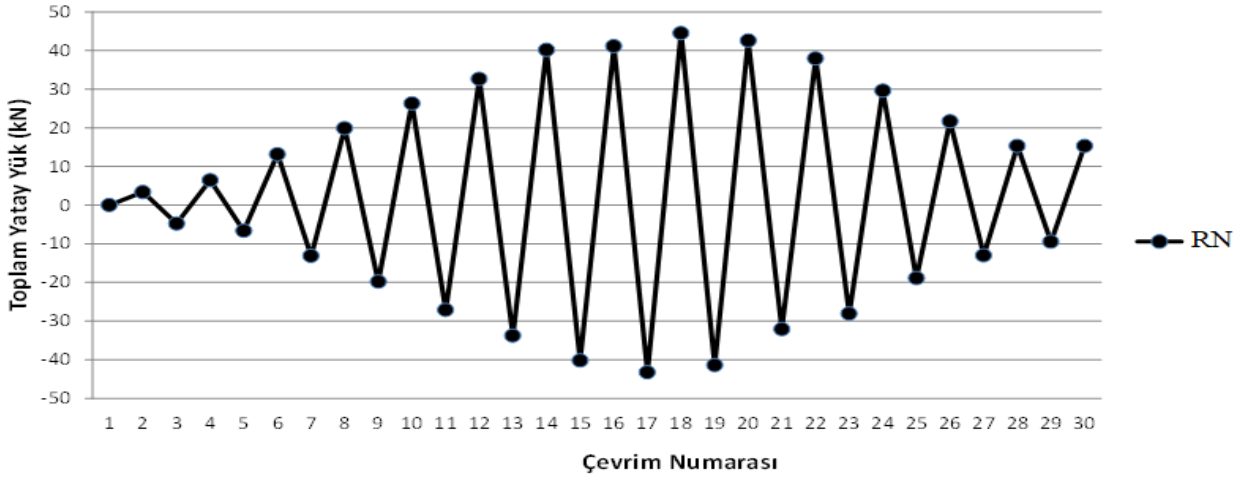
#### DENEY SONUÇLARI (TEST RESULTS)

Bir adet referans ve bir adet önüretimli X şeklinde diyagonal beton panelle güçlendirilmiş toplam iki adet numune depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Deney süreci aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

- RN yük kontrollü olarak 10 kN'luk artışlar ile ileri çevrimlerde akma noktası olan 44.50kN'a ve

geri çevrimlerde akma noktası olan 43.19 kN'a kadar devam edilmiş, daha sonra 10 mm artışlar ile 78 mm' ye kadar deplasman kontrollü bir şekilde deney bitirilmiştir. RN'nin yük geçmişi, histeresis eğrisi, zarf eğrisi ve deney öncesi-sonrası Şekil 5'de gösterilmiştir.

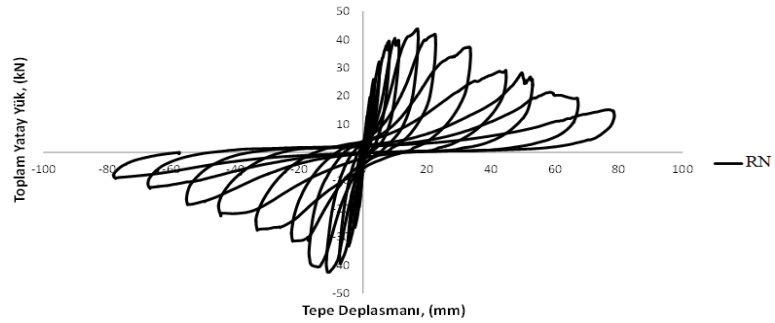
• Güçlendirilmiş X-TPÇ deney numunesinde ise, yük kontrollü olarak ileri ve geri çevrimlerde 5 ve 10 kN'luk artışlar ile akma noktası olan 161 kN'a gidilmiş, sistemin akmasından sonra 100 mm deplasmana kadar 10 mm artışlarla göçme konumuna ulaşmıştır. X-TPÇ elemanının yük geçmişi, histeresis eğrisi, zarf eğrisi, deney öncesi-sonrası Şekil 6'da gösterilmiştir. Ayrıca RN ve X-TPÇ numunelerin karşılaştırmalı zarf eğrisi grafikleri Şekil 7 de gösterilmiştir.



Yük geçmişi



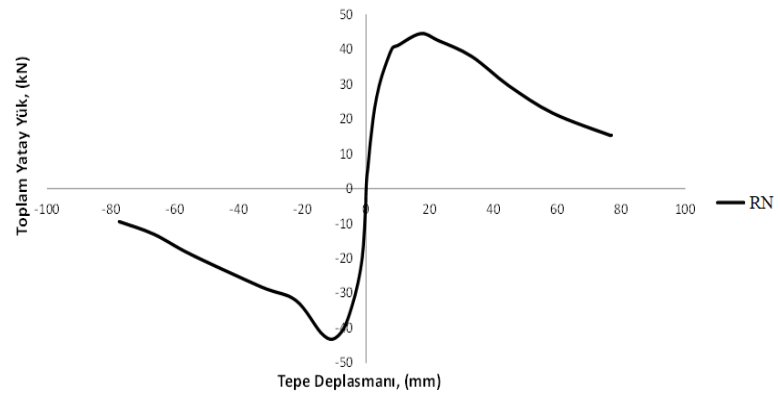
Deney Öncesi



Histeresis Eğrisi



Deney Sonrası

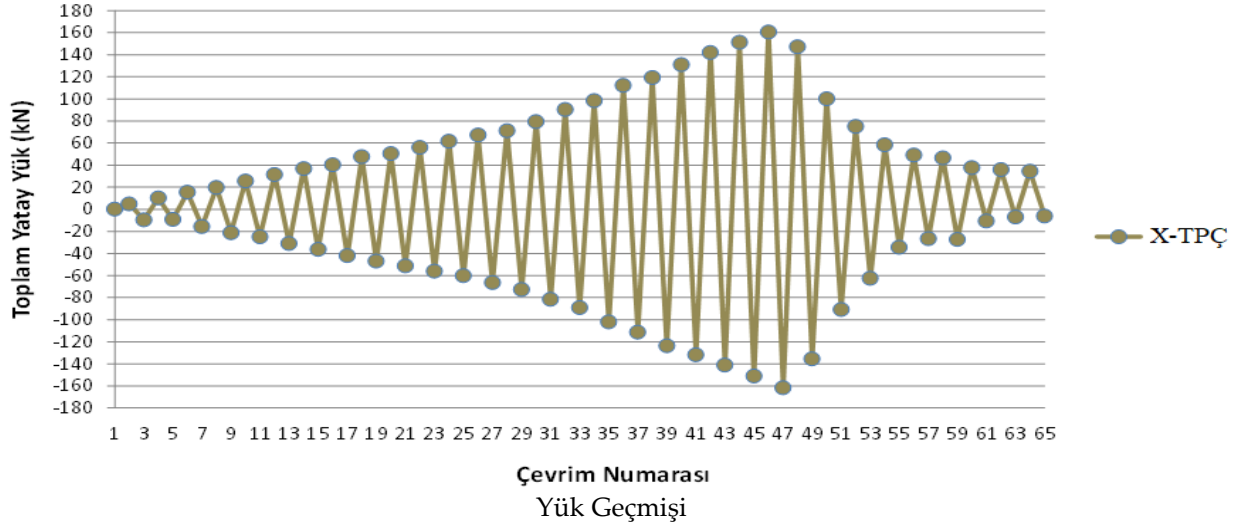


Zarf Eğrisi

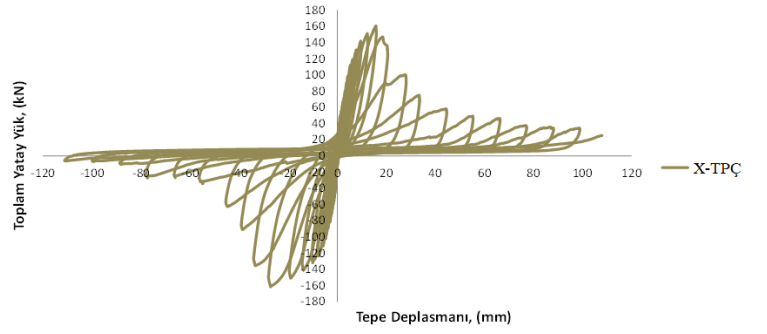
Şekil 5. Referans Numunenin (RN) Yük geçmişi, Histeresis eğrisi, Zarf eğrisi ve Deney öncesi-sonrası

Figure 5. Illustration of Load Histories of RN, Histeresis Curve, Envelope Curve and before and after test





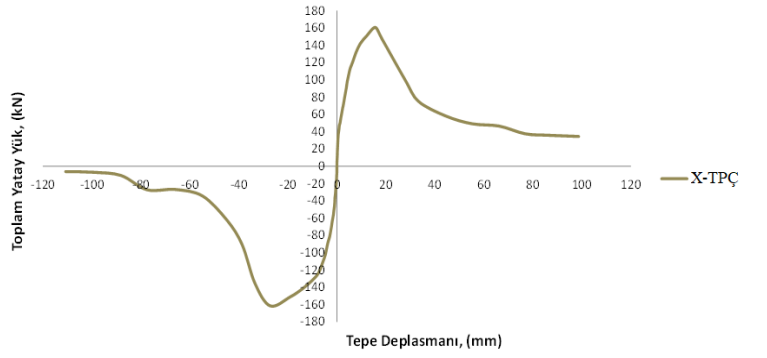
Deney Öncesi



Histerisis Eğrisi

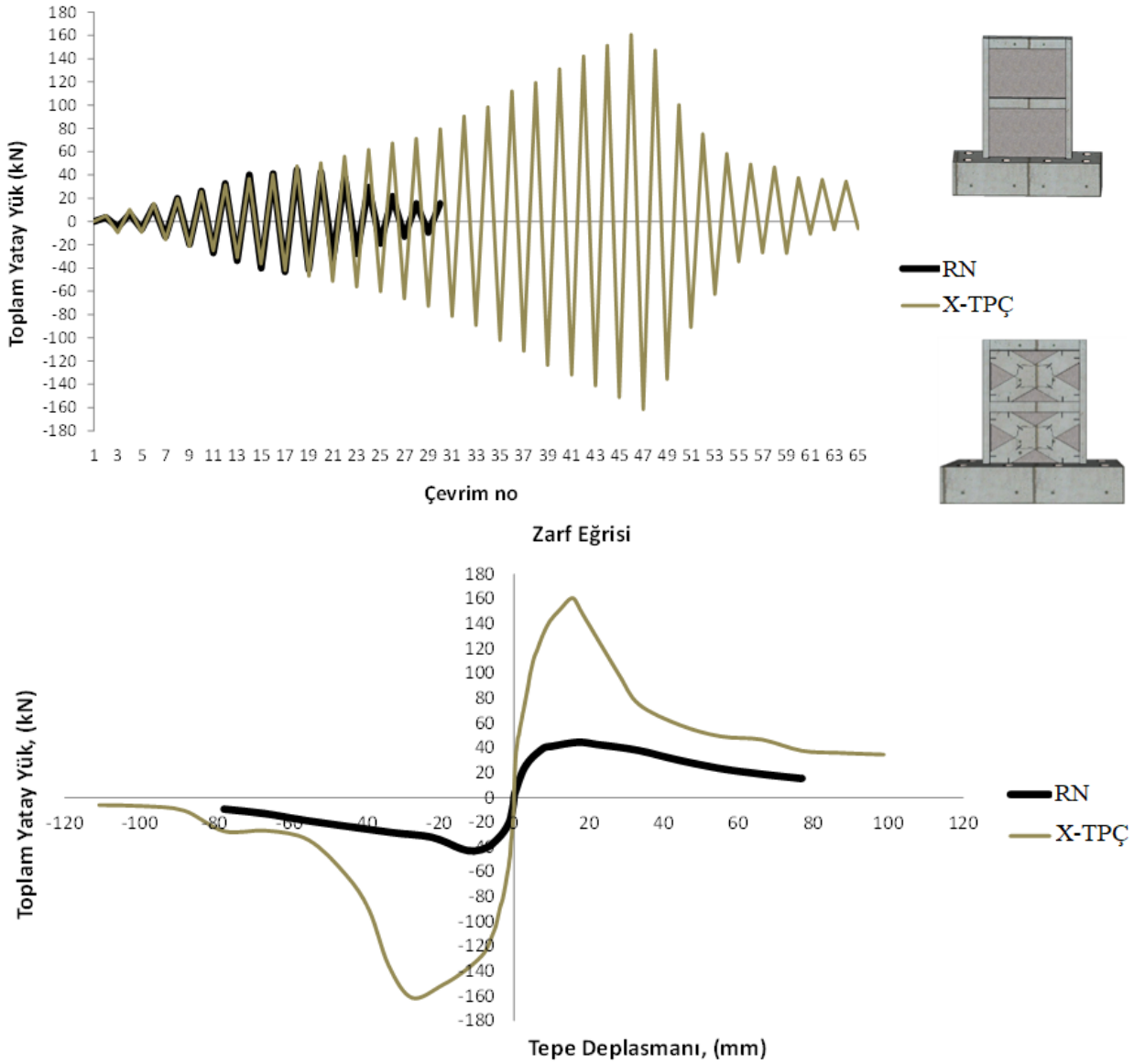


Deney sonrası



Zarf Eğrisi

Şekil 6. X-TPÇ Elemanın yük geçmişi, Histerisis Eğrisi, Zarf Eğrisi ve Deney öncesi-sonrası  
Figure 6. Illustration of Load Histories of X-TPÇ, Histerisis Curve, Envelope Curve and before and after test



**Şekil 7.** Numunelerin Yük Geçmişi ve Zarf Eğrisi Karşılaştırması

*Figure 7. Comparison of Load Histories of All Test Specimens and Envelope Curve*

## DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF TEST RESULTS)

X şeklinde önüretimli yeni nesil diyagonal panellerin yerleşimi ile güçlendirmenin incelendiği çalışmada maksimum taşıma kapasitesi açısından karşılaştırma yapıldığında RN elemanına göre ileri ve geri çevrimlerde sırasıyla, X-TPÇ 3.61-3.74 kat daha fazla yük taşımıştır. Sisteme eklenen paneller bu artışla aynı zamanda rijitliğin arttığını da göstermektedir. Numunelerin maksimum yatay yükteki rijitlikleri bakımından karşılaştırılması yapıldığında X-TPÇ elemanının RN'ye göre yaklaşık 12.3 kat daha fazla rijitliğe sahip olduğu görülmüştür. Herhangi bir deney numunesinin rijitlik değeri, her bir ileri ve geri çevrimdeki yük-tepe deplasman grafiğindeki en dik lineer bölümün eğimi olarak alınmıştır. Deney elemanlarının maksimum yükte deplasman ve görelî ötelenme oranı Çizelge 3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Deney Elemanlarının Test Özetleri*Table 3. Test Summary of Test Specimens*

Deney Elemanı	Maksimum Yanal Yük (kN)		Oran <sup>(1)</sup>		Maksimum Yanal Yükte Tepe Deplasmanı (mm)		Maksimum Yanal Yükte 2. Kat Göreli Ötelenme Oranı ( $\delta_{mak}/h$ ) = $[(d_i-d_{i-1})/h]$	
	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri
RN	44.50	43.20	1	1	17.06	10.57	0.0044	0.0054
X-TPÇ	160.65	161.57	3.61	3.74	15.75	27.21	0.0067	0.0234

<sup>(1)</sup> Maksimum yanal yük değerinin referans deney eleman değerine oranı

TDY-2007'de görece kat öteleme oranı  $\delta_{mak}/h$  oranı ile sınırlandırılmıştır. Bu yönetmeliğe göre güvenlik sınırı 0.03, göçme sınırı 0.04 olarak verilmiştir. Diğer bir deyişle gerçek bir yapıda tuğla duvarın dışında bulunan betonarme çerçevenin yeterince sünek olması durumunda ileri hasar düzeyinde olacağını, 0.04 oranını aşması halinde ise göçme bölgesine gireceğini söylemektedir. Bu açıdan bakıldığında güçlendirilmiş X-TPÇ deney numunesinin de bu sınır değerinin altında kaldığı görülmektedir. Toplam enerji tüketme kapasitesi ise bir yapının deprem anında depreme karşı koyma direncinin ve davranıştaki olası iyileşmenin göstergesidir. Tüm deney numuneleri için hesaplanan bu değer, yatay yük-tepe deplasman (histeresis eğrisi) grafiği altında kalan alanların her bir çevrim için toplanması ile elde edilmiştir. Güvenlik sınırı olan %3 için karşılaştırma yapılsa RN 10.40 kJ enerji tüketmişken, X-TPÇ 35.77 kJ enerji tüketmiştir. Dolayısıyla X-TPÇ, RN'ye göre %244 daha fazla enerji tüketmiştir. 0.04 oranındaki göçme sınırı için karşılaştırma yapıldığında RN numunesinin 11.24 kJ enerji tükettiği buna karşılık, X-TPÇ deney numunesinin 40.79 kJ olduğu hesaplanmıştır. Buna göre %4 göçme sınırı için X-TPÇ, RN'ye göre %262.8 daha fazla enerji tükettiği sonucuna varılmıştır. RN ve X-TPÇ numunelerinin deney sonundaki toplam kümülatif enerji tüketme kapasiteleri ve maksimum yükte ilgili çevrimdeki tüketilen toplam enerji değerleri Çizelge 4'de k<sub>j</sub>(kilojoule) cinsinden verilmiştir.

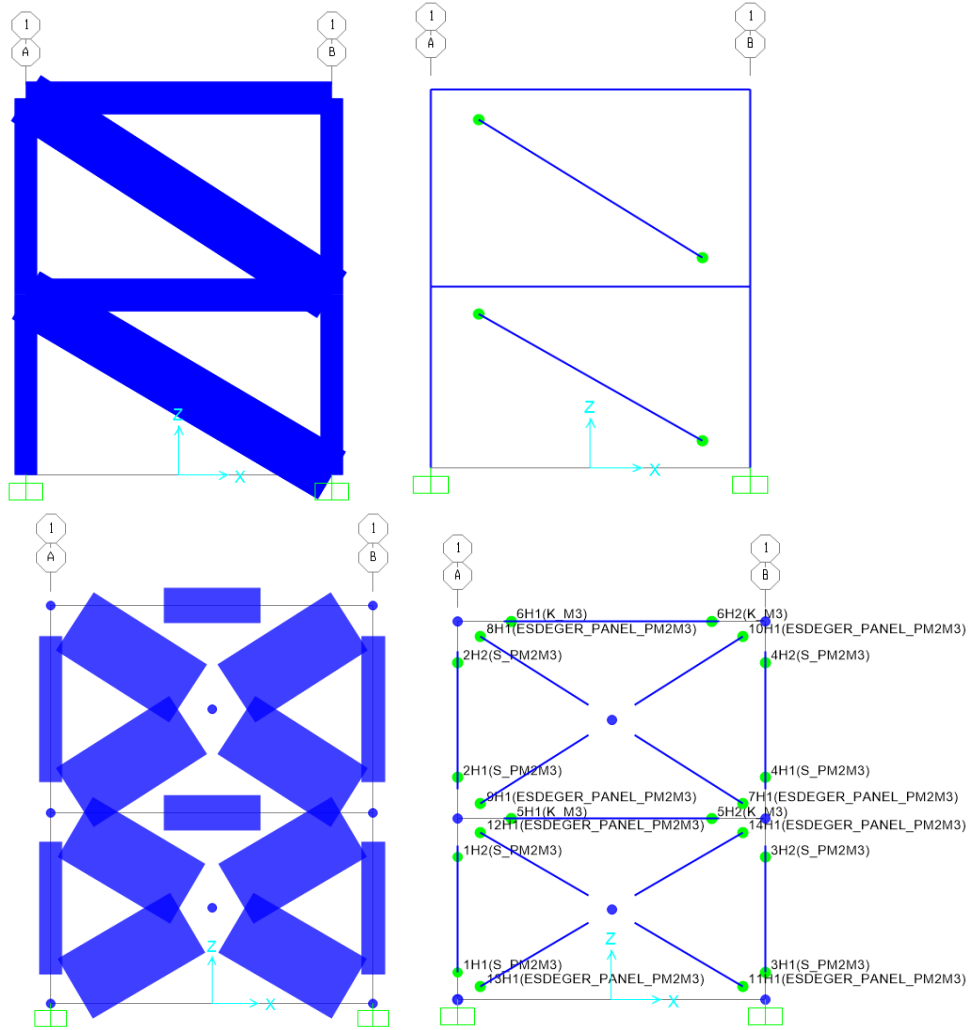
**Çizelge 4.** Deney numunelerinin enerji tüketme kapasitelerinin karşılaştırması*Table 4. Comparison of energy dissipation capacity of test specimens*

	Tüketilen Enerji Değerleri (kJ)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Maksimum Yükte	Deney Sonunda	Maksimum Yükte	Deney Sonunda
RN	0.57	11.24	1.00	1.00
X-TPÇ	6.20	48.20	10.83	4.29

#### DENEY SONUÇLARI İLE ANALİTİK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON OF EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYTICAL RESULTS)

Statik itme analizi herhangi bir yapının yanal yükler altında performansını ölçen doğrusal olmayan statik analiz yöntemidir. Deney numunelerinin modellenmesi esnasında taşıyıcı sistem elemanları çubuk eleman olarak modellenmiştir. Statik itme analizinde betonarme kesitlerde TDY-2007'de verilen çatlamış rijitlikler ve deneyde kullanılan her bir malzemenin karakteristik özellikleri kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada kolonlara etkimesi gereken düşey yük ihmal edildiğinden analitik hesaplarda da bu

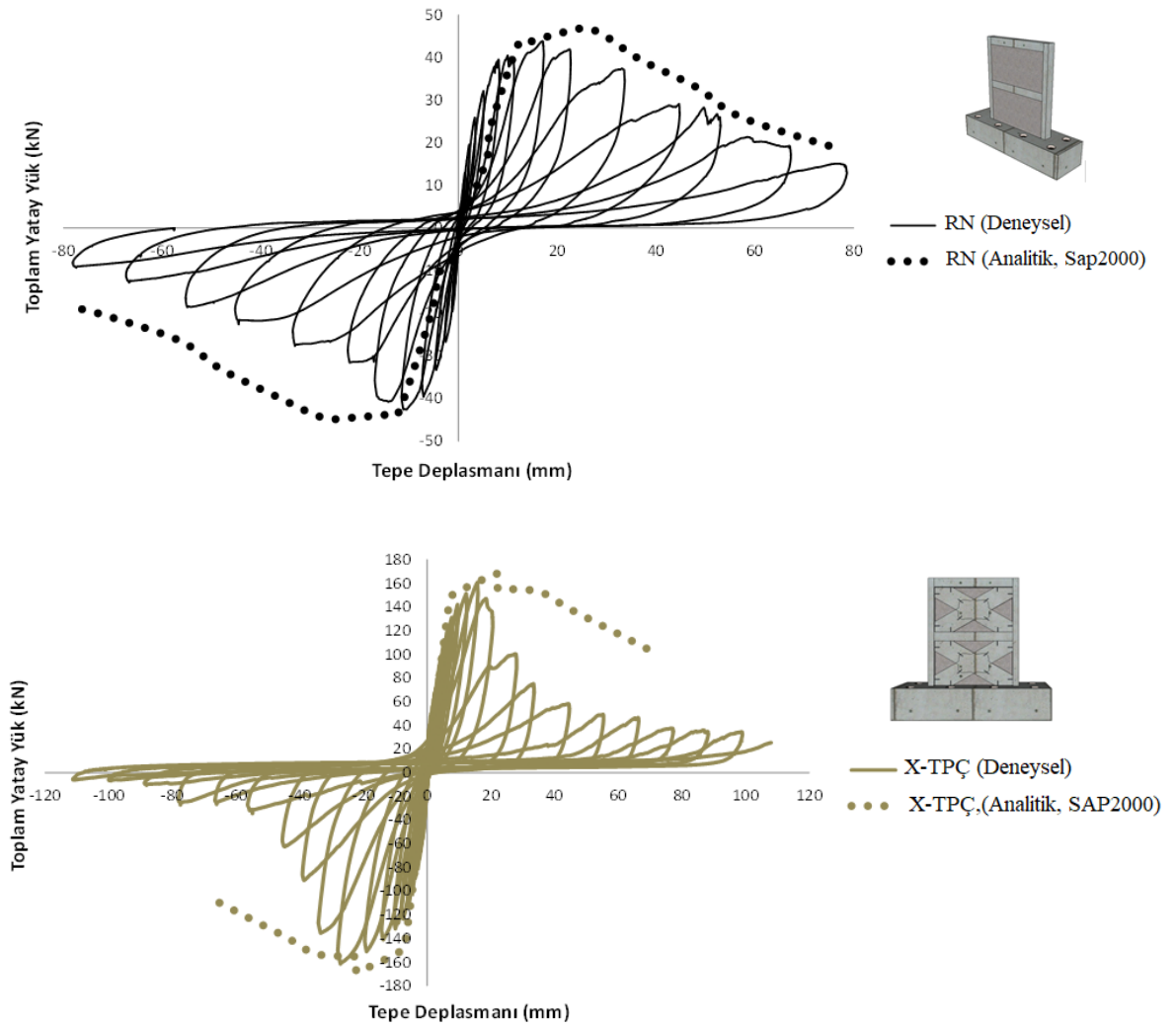
durum dikkate alınmıştır. Yalnızca sıvanmış dolgu duvardan oluşan referans deney numunesi (RN) iki ucu mafsallı eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenirken, önüretimli paneller kullanılarak güçlendirilen numuneler TDY-2007'deki hesap kriterleri göz önüne alınarak benzer şekilde eş değer basınç çubuğu olarak modellenmiştir. RN ve X-TPÇ deney numunelerine ait SAP2000 programında oluşturulan model Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. RN ve X-TPÇ deney numunelerinin SAP2000'de oluşturulan modeli

Figure 8. Model of RN and X-TPÇ test specimens generated in SAP2000

Şekil 9'da SAP2000 yapı analiz programı ile gerçekleştirilen analitik çalışma sonuçları ve deneysel çalışma ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 9. DeneySEL ve Analitik çalışmaların karşılaştırılması

Figure 9. Comparison of Experimental and Analytical study

Şekil 10'da deney numunelerinin deney sonundaki şematik hasar şekilleri verilmiştir. 1 numaralı deney numunesi olan RN elemanında hasarlar düşük yük seviyesinde oluşmuşken, güçlendirilmiş X-TPÇ deney numunesinde geri çevrimlerde plastik mafsallaşmalar daha ileri yük seviyelerinde yoğunlaşmıştır.



RN numunesinin deney sonu görüntüsü



Dolgu duvarda meydana gelen hasar ve kolonlarda oluşan kesme çatlakları



Kolonlarda kabuk betonun dökülmesi ve dolgu duvar hasarı



X-TPÇ numunesinin deney sonu görüntüsü



Paneli çerçeveye bağlayan ankrajda kopma ve kolonda oluşan kalıcı hasarlar.



Kolonlarda kabuk betonun dökülmesi sonucu donatılarda akma ve köşe bölgelerin ezilmesi

**Şekil 10.** Numunelerde oluşan hasar görüntüleri

*Figure 10. Damage to images of Test Specimens*

## SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada, boşluklu tuğla dolgu duvarları yüksek dayanımlı, önüretimli yeni nesil çapraz beton panellerle güçlendirilmiş betonarme (BA) çerçevelerin tersinir-tekrarlanır yatay yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Yapılan deneyler, çerçeve duvarlarının önüretimli diyagonal paneller ile güçlendirilmesi yönteminin, yatay yükler altında dolgulu BA çerçevelere olan katkısı, uygulanabilirliği konusunda bir bakış açısı kazandırmıştır.

Deneylerde, uygulamada sıklıkla karşılaşılan tasarım ve yapım kusurlarına sahip 2 katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçekli 2 adet boşluklu tuğla dolgulu BA çerçeve üretilmiştir. Bunlardan biri referans numune olarak, diğeri duvarları, diyagonal panel olarak tasarlanıp üretilen panellerin yapıştirılması sonucu güçlendirilerek deneye tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda güçlendirilmiş numunelerin, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi, başlangıç rijitliği ve enerji tüketme kapasitesi bakımından daha iyi sonuçlar verdikleri gözlemlenmiştir. Deneyler sırasında referans numunedeki tuğla dolgu duvarlarında hasarlar düşük yük seviyesinde oluşmuşken, güçlendirilmiş numunenin duvarlarında, kolonlarda ve kirişlerde ileri yük çevrimlerinde daha fazla hasar gözlemlenmiştir. Hasarlar daha çok 1. kat kolonlarında, kolon- kiriş birleşim bölgelerinde yoğunlaşmıştır.

Genel olarak bu çalışma neticesinde, önüretimli yüksek dayanımlı yeni nesil panelle güçlendirme yönteminin, uygulama kolaylığı, binanın boşaltılmasını gerektirmemesi ve yatay yüklere karşı yapının dayanımını yeterli düzeyde artırması göz önüne alındığında diğeri güçlendirme yöntemlerine göre tercih edilebilir bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

**TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)**

Yazarlar 215M375 proje numarası ile bu çalışmaya kısmi olarak maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TUBİTAK) ve Selçuk Üniversitesi ÖYP (2014-ÖYP-104) kurumuna teőekkürlerini sunarlar.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- Acun B., Sucuoğlu, H., 2005, "Tuğla Dolgu Duvarlı erevelerin Hasır Donatı ile Güçlendirilmesi", *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 965-971, 23-25 Mart 2005.
- Akın, E., Korkmaz, S. Z., Korkmaz, H. H., & Diri, E. (2016). Rehabilitation of Infilled Reinforced Concrete Frames with Thin Steel Plate Shear Walls. *Journal of Performance of Constructed Facilities, American Society of Civil Engineers(ASCE)*, 30(4). doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000840](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000840)
- Akın, A., 2011, "Önüretimli Beton Panellerle Güçlendirilmiş Dolgulu Betonarme erevelerin Deprem Davranışının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Akın, A., Sezer, R., 2016, " A Study on Strengthening of Reinforced Concrete Frames using Precast Concrete Panels" *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2016 Korean Society of Civil Engineers. Sayfa 1-8, DOI 10.1007/s12205-016-0188-z.
- Akın, E., Korkmaz, S. Z., Korkmaz, H. H., Diri, E., 2016, Rehabilitation of Infilled Reinforced Concrete Frames with Thin Steel Plate Shear Walls. *Journal of Performance of Constructed Facilities, American Society of Civil Engineers(ASCE)*, 30(4). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000840](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000840).
- Balık, F.S., 2012, "Betonarme Dolgu Duvarla Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Yetersiz Betonarme erevelerin Davranışına Pencere Boşluklarının Etkisi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Baran, M., 2012, Investigation of the Effects of Infill Walls on the Behavior of Reinforced Concrete Framed Structures. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(2), 275-284.
- Baran, M., Tankut, T., 2011, "Experimental Study on Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames by Precast Concrete Panels, *ACI Structural Journal*, Cilt 108, No 2, 227-237.
- Binici, B., Özcebe, G. ve Özelik, R., 2007, "Analysis and design of FRP composites for seismic retrofit of infill walls in reinforced concrete frames", *Composites: Part B*, Cilt 38, 575-583.
- DBYBHY-2007 (TDY-07), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Mart 2007, Ankara.
- ElGawady, M., Lestuzzi, P., Badoux, M., 2004, "A review of conventional seismic retrofitting techniques for URM", *13th International Brick and Block Masonry Conference*, Amsterdam, 1-9, Haziran, 2004.
- Ersoy, U., Uzsoy, S., 1971, The Behavior and Strength of Infilled Frames, Tübitak Proje No. MAG-205 (in Turkish), Ankara, Türkiye.
- Frosch, R.J, Wanzhi L., Jirsa, J.O., and Kreger, M.E., "Retrofit of Non-Ductile Moment-Resisting Frames Using Precast Infill Wall Panels", *Earthquake Spectra*, Vol. 12, No. 4, 741-760, November, 1996.
- Kara, İ.F, Ashour, A.F, Köroğlu, M.A., 2015, "Flexural behavior of hybrid FRP/steel reinforced concrete beams", *Composite Structures* Vol.129, pp 111-121.
- Kara, İ.F, Ashour, A.F, Köroğlu, M.A., 2016, "Flexural performance of reinforced concrete beams strengthened with prestressed near-surface-mounted FRP reinforcements" *Composites Part B:Engineering* Vol. 91, pp.371-383.
- Kara, İ.F, Köroğlu, M.A., Ashour, A.F., 2017, "Tests of Continuous Concrete Slabs and Reinforced with Basalt Fiber-Reinforced Plastic Bars. " *ACI Structural Journal* 114, no.5.

- Kesner, K., Billington, S. L., 2005, "Investigation of Infill Panels Made from Engineered Cementitious Composites for Seismic Strengthening and Retrofit, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Cilt No 131(11), 1712-1720.
- Marjani, F., 1997, "Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames under Reversed Cyclic Loading". (Phd. Thesis), METU.
- Perera, R., Gómez, S. and Alarcón, E., 2004, "Experimental and Analytical Study of Masonry Infill Reinforced Concrete Frames Retrofitted with Steel Braces", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Cilt No 130(12), 2032-2039.
- Sevil, T., Baran M., Bilir, T., Canbay, E., 2011, "Use of steel fiber reinforced mortar for seismic strengthening", *Construction and Building Materials*, Cilt 25, 892-899.
- Zhang, Y., Wang, Z., 2000, "Seismic Behavior of Reinforced Concrete Shear Walls Subjected to High Axial Loading" *ACI Structural Journal*, Cilt 97, No: S275, 739-750.





## TEDARİKÇİ SEÇİMİ UYGULAMALARI: BİLGİ VE İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİ PERSPEKTİFLİ BİR LİTERATÜR TARAMASI

<sup>1</sup>Ali Emre KARAÖZ, <sup>2</sup>Göknur Arzu AKYÜZ, <sup>3</sup>Kemal TEKİN

<sup>1,2,3</sup> Türk Hava Kurumu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Ankara, Türkiye.

<sup>1</sup>emre.karaoz@hotmail.com, <sup>2</sup>arzu.akyuz@gmail.com, <sup>3</sup>kemtek2003@yahoo.com

(Geliş/Received: 17.10.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 11.01.2019)

**ÖZ:** Tedarik zinciri yönetimi içerisinde gittikçe stratejik önem kazanan tedarikçi seçim süreci; literatürde birbiriyle çatışan birden fazla objektif ve subjektif kriteri bünyesinde barındıran bir çok kriterli karar alma problemi olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada, çağımızın en önemli sektörlerinden birisi olan ve diğer sektörler için kaldıraç görevi gören bilgi iletişim teknolojileri (BİT) alanında faaliyet gösteren işletmelere ürün ve hizmet sağlayan tedarikçilerin seçimi konusu için, içerisinde seçim uygulamaları bulunan farklı sektörlerde yapılan çalışmalar incelenmiştir. BİT sektörünün güncel bir alan olması nedeniyle, 2000 yılından sonra yapılan çalışmalara odaklanılmıştır. Uygulanan yöntemler ve seçim kriterleri sektörel bazda ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek BİT alanında kullanılabilecek kriter kümesi ve modeller ortaya konulmuştur. Çalışma, BİT odaklı olması ve mevcut metotlar ile kriter setlerinin detaylı analiziyle literatüre katkıda bulunur ve bu anlamda hem BİT, hem de diğer teknoloji sektörlerine ışık tutar niteliktedir.

**Anahtar Kelimeler:** BİT Sektörü, Çok Kriterli Modeller, Seçim Kriterleri, Tedarikçi Seçimi

### Supplier Selection Applications: A Review from Information and Communication Technologies Perspective

**ABSTRACT:** Supplier selection process, which is gaining increasingly strategic importance in supply chain management, is treated as a multi-criteria decision-making problem inherently containing multiple conflicting, objective as well as subjective criteria. Being one of the most important sectors in this era, information and communications (ICT) sector acts as the leverage for other sectors. In this study, a survey is performed on the supplier selection applications from different sectors for the problem of supplier selection for the companies providing goods and services to ICT sector. Because of the contemporary nature of the ICT sector, the study mainly focused on resources after year 2000. Applied methods and selection criteria existing in extant literature are evaluated comparatively on a sectoral basis, and models and set of criteria that can be applicable to ICT sector are revealed. This study contributes to the literature by its focus on ICT and detailed analysis of the existing methods and criteria sets, and sheds light to both ICT and other technology-intensive sectors.

**Key Words:** ICT Sector, Multi-Criteria Models, Selection Criteria, Supplier Selection

### GİRİŞ (INTRODUCTION)

Rekabet baskılarının artması ile tedarik zinciri yönetimi işletmelerin iş stratejilerini başarmada dikkate aldıkları en önemli konulardan biri haline gelmiştir. Bu kapsamda, doğru tedarikçinin seçimi işletmeye stratejik rekabet avantajı açısından önemli bir üstünlük sağlamaktadır (Özel ve Özyörük,

2007). Tedarikçi seçimi için mevcut uygulamalarda kullanılmakta olan çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin gelecekteki araştırmalarda da çok önemli olacağı öngörülmektedir (Shen ve diğ., 2018). Bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) etkin ve verimli kullanılması her sektör için en etkili unsurlardan birisi olduğundan, özellikle BİT sektöründe ürün ve hizmet sağlayan işletmelerin tedarikçilerini seçerken gelişen teknolojiye uygun yöntemler kullanmaları, gerek Türkiye’de başarılı olmaları gerekse de global bir şirket olabilmeleri için büyük önem arz etmektedir.

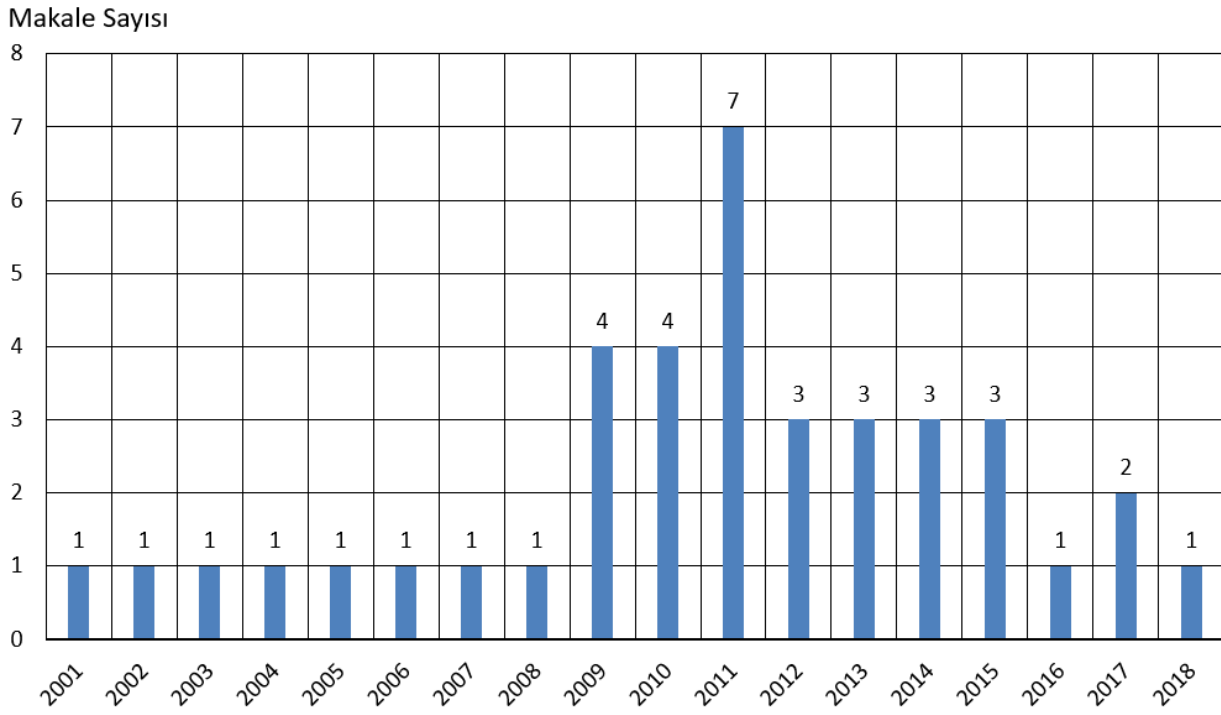
Bu çalışmada, tedarik zinciri yönetimi kapsamında yer alan çok kriterli karar verme metodlarını içeren tedarikçi seçim yöntemlerinin BİT alanında kullanılabilirliği araştırılmıştır. BİT alanındaki alımlar büyük çaplı ve proje bazlı olduğundan, şirketler tedarikçileriyle bir paydaş şeklinde iş ortağı gibi çalışmakta olup, uçtan uca bütünleşik çözüm sunması istenen tedarikçinin şirketle tam uyumlu olması beklenmekte ve bu nedenle de tedarikçiler stratejik konumda yer almaktadır. Stratejik tedarikçilerin seçilmesi açısından bakıldığında, kullanılan süreç ve kriterlerin belirlenmesi en önemli adım olmaktadır. Çalışmada, literatürde farklı sektörlerde uygulanan modeller, süreç adımları ve kriterler üzerine odaklanılarak, yapılan değerlendirmeler ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur.

Bu kapsamda, BİT sektörünün diğer sektörlerden ayrılan yönleri dikkate alınmış olup; hızla gelişen teknoloji ile birlikte bu sektördeki ihtiyaçların aynı hızla dinamik şekilde karşılanması için gerekli olan unsurlar göz önüne alınarak inceleme kapsamında görülen sektörlerde uygulanan kriter ve yöntemler bu açıdan değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamındaki tespitlerden hareketle, çeşitli boyutlara göre sınıflandırması yapılan yöntem ve kriterlerin gerek BİT sektörünün, gerekse teknolojik boyutu yüksek benzer sektörlerle yönelik geliştirici katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bunun yanında, BİT ürün ve hizmetlerinde küresel pazarlarda rekabet avantajı elde edebilmesine yönelik belirlenen/belirlenecek hedeflere ulaşılabilmesi amacıyla önemli bir çarpan olması yönünde farkındalık yaratabilecektir.

Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında; ikinci bölümde araştırma kapsam ve metodolojisi, üçüncü bölümde tedarikçi seçim modelleri, dördüncü bölümde seçim kriterleri, beşinci bölümde modeller ve kriterler hakkındaki değerlendirmeler, altıncı bölümde ise sonuç ve öneriler bulunmaktadır.

## **MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)**

Bu çalışmada, taksonomi sistematiği ile farklı sektörlerdeki tedarikçi seçme uygulamaları konusunda kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. BİT sektöründeki tedarikçi seçimi alanına odaklanıldığından, teknolojik iş alanlarının diğer sektörlerle göre daha hızlı gelişen güncel konular olması nedeniyle, incelenen makalelerin de güncel olması tercih edilmiştir. Bu çerçevede literatür taraması yapılırken güncel kaynaklara odaklanılarak, özellikle 2000 yılından sonra yapılan çalışmalar taranmıştır. Araştırma yapılırken; Taylor and Francis, ScienceDirect, EBSCO Host, Scopus, Emerald Publishing ve Springer Link veri tabanları kullanılarak, “tedarikçi seçimi”, “tedarikçi seçim kriterleri”, “çok kriterli modeller” ve “BİT Sektörü” anahtar kelimeleri ile tarama yapılmıştır. Taranan kaynaklar içerisinde en az bir tedarikçi seçimi uygulamasını içeren çalışmalar seçilmiştir. Bu unsurları içeren makaleler kaynakça bölümünde belirtilmiş olup; bu 39 çalışma, kullanılan tedarikçi seçimi modelleri uygulamaları ve değerlendirme kriterleri açısından detaylı şekilde incelenmiştir. İncelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı Şekil 1’de gösterilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere konu ile ilgili incelenen yayınların çoğunlukla 2009 yılından sonra olduğu görülmektedir.



**Şekil 1.** Tedarikçi seçimi uygulaması içeren çalışmaların yıllara göre dağılımı

*Figure 1.* Distribution of resources containing supplier selection application with respect to years

Tedarikçi değerlendirme uygulaması içeren makalelerin, yayımlandıkları dergilere göre dağılımı Çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Tedarikçi seçimi uygulaması içeren çalışmaların yayınlandığı dergilere göre dağılımı*Table 1. Distribution of articles containing supplier selection application with respect to journals*

Dergi Adı ve Yılı	Makale Sayısı
Expert Systems with Applications (2008, 2009 [2], 2011 [3], 2012)	7
International Journal of Production Research (2003, 2012, 2013)	3
International Journal of Management Science and Engineering Management (2009, 2011, 2017)	3
The Journal of Supply Chain Management (2001, 2002)	2
International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2011, 2015)	2
International Journal of Production Economics (2007, 2011)	2
The Journal of American Academy of Business (2005)	1
Journal of Cleaner Production (2010)	1
Automation in Construction (2014)	1
Computers & Industrial Engineering (2013)	1
Mathematical and Computer Modelling (2006)	1
International Journal of Applied Operational Research (2012)	1
Total Quality Management (2010)	1
International Journal of Computer Integrated Manufacturing (2013)	1
Journal of Business Economics and Management (2014)	1
International Journal of Industrial Mathematics (2015)	1
Journal of Engineering Manufacture (2004)	1
Decision Science Letters (2017)	1
Production Planning & Control (2010)	1
Asia-Pacific Journal of Operational Research (2010)	1
Endüstri Mühendisliği Dergisi (2009)	1
Ege Akademik Bakış (2015)	1
Transport (2013)	1
İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi (2011)	1
Journal of Applied Quantitative Methods (2016)	1
Procedia Computer Science (2018)	1
TOPLAM	39

Çizelge 1'den anlaşılacağı üzere, incelenen çalışmalardan 3 kaynak yerli dergilerde yayınlanmış olup, çoğunluğu oluşturan 36 çalışma yabancı kaynaklardan alınmıştır. Kaynakların atıf yapılma durumu ile dergilerin indeks durumlarına bakılarak; yabancı kaynaklar içerisindeki 23 çalışmanın atıf yapılmış makale, yabancı kaynakların bulunduğu toplam 22 dergiden 13'ünün indeksli yayın olduğu görülmüştür. Özetle, incelenen kaynakların çoğunluğu atıf yapılmış kaynaklar, dergilerin çoğunluğu da indeksli yayınlardır.

İncelenen kaynaklardaki çalışmaların tedarikçi seçimi uygulama alanlarına göre gruplaması yapılarak, çalışma alanı kırımlarının gösterildiği sektörel açıdan dağılımlara ait bilgiler Çizelge 2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Tedarikçi seçimi uygulaması içeren kaynakların sektörel dağılımı  
 Table 2. Distribution of articles containing supplier selection application with respect to the application sector

Makale	Çalışılan Sektör														
	Elektronik Üretim	Otomotiv	Teknoloji	Üretim Sektörü	Varsayımsal İşletme	Mekanik Üretim	3C Endüstrisi (Bilgisayar, İletişim, Müşteri)	Bilişim (ISP)	Kablo Sektörü	Kozmetik	Otomotiv Aydınlatma Sistemleri	P11 Üretimi	TV Program	Yapı Malzemeleri	Elektronik Market
Narasimhan ve diğ., 2001.	1														
Sarkis ve Talluri, 2002.						1									
Chan, 2003.					1										
Chan ve Chan, 2004.	1														
Tseng ve Lin, 2005.			1												
Shyur ve Shih, 2006.					1										
Huang ve Keskar, 2007.	1														
Chou ve Chang, 2008.							1								
Amin ve Razmi, 2009.								1							
Wu ve diğ., 2009.	1														
Alyanak ve Armane, 2009.											1				
Jadidi ve diğ., 2009.					1										
Wu ve Weng, 2010.			1												
Liao ve diğ., 2010.												1			
Kuo ve diğ., 2010a.										1					
Kuo ve diğ., 2010b.	1														
Lin ve diğ., 2011.	1														
Fazlollahtabar ve diğ., 2011.															1
Supçiller ve Çapraz, 2011.				1											
Zeydan ve diğ., 2011.		1													
Golmohammadi, 2011.		1													
Aksoy ve Öztürk, 2011.		1													
Wu ve Liu, 2011.						1									
Kuo ve Lin, 2012.			1												
Amin ve Zhang, 2012.	1														
Shahroudi ve Rouydel, 2012.		1													
Kasirian ve Yusuff, 2013.		1													
Chen ve Wu, 2013.	1														
Huang ve Hu, 2013.		1													
Hruska ve diğ., 2014.				1											
Chen ve diğ., 2014.							1								
Safa ve diğ., 2014.														1	
Ar ve diğ., 2015.									1						
Pitchipoo ve diğ., 2015.				1											
Vahdani ve diğ., 2015.										1					
Sarı ve Timor, 2016.		1													
Yıldız ve Yayla, 2017.		1													
Pramanik ve diğ., 2017.	1														
Kumar ve diğ., 2018.				1											
TOPLAM	9	8	3	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1

Tedarikçi seçimi uygulaması içeren kaynakların sektörel dağılımını gösteren Çizelge 2'den görüldüğü gibi, en fazla çalışmanın yapıldığı sektörün elektronik üretim sektörü, bunu takip eden sektörlerin de sırasıyla otomotiv, teknoloji ve üretim sektörleri olduğu anlaşılmaktadır.

Yukarıda belirtilen kapsamda yapılan literatür taraması doğrultusunda Bölüm 3 te tedarikçi seçim modelleri, Bölüm 4 te ise seçim kriterleri tartışılmıştır.



Amin ve Zhang, 2012.												√															√									√	
Shahroudi ve Rouydel, 2012.	√		√																																	√	
Zeydan ve diğ., 2011.					√	√	√																													√	
Aksoy ve Öztürk, 2011.					√																																
Golmohammad i, 2011.					√																																
Lin ve diğ., 2011.	√		√																				√													√	
Fazlollahtabar ve diğ., 2011.		√	√																																		√
Supçiller ve Çapraz, 2011.		√	√																																		√
Wu ve Liu, 2011.							√	√				√																									√
Kuo ve diğ., 2010a.						√								√																							√
Kuo ve diğ., 2010b.	√			√	√																																√
Liao ve diğ., 2010.	√																																				
Wu ve Weng, 2010.																																					√
Alyanak ve Armane, 2009.		√						√																													√
Amin ve Razmi, 2009.														√																							√
Wu ve diğ., 2009.	√																						√														√
Jadidi ve diğ., 2009.			√								√																										√
Chou ve Chang, 2008.																						√															
Huang ve Keskar, 2007.		√																						√													
Shyur ve Shih, 2006.	√										√																										√
Tseng ve Lin, 2005.		√						√																													√
Chan ve Chan, 2004.		√																																			
Chan, 2003.		√																					√														√
Sarkis ve Talluri, 2002.	√																																				
Pitchipoo ve diğ., 2001.					√																																
TOPLAM:	12	10	7	4	4	3	4	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25	

Çizelge 3'de özeti verilen incelenen kaynaklarda yer alan tedarikçi seçim yöntemlerinin 25'i birleşik model olup, bu çalışmalarda bir veya birden fazla seçim yöntemi bütünleşik olarak kullanılmıştır. Diğer 14 çalışmada ise seçim yöntemleri tek olarak uygulanmıştır. Kullanılan seçim yöntemlerinin sayıları dikkate alındığında, ANP yönteminin 12, TOPSİS bazı yönteminin 13, AHP yönteminin ise 10 çalışmada yaygın şekilde kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntemlerin birleşik model olarak ne şekilde kullanıldığına durumuna bakıldığında, ANP için 10, AHP için 7, TOPSİS için de 8 çalışmada

uygulandığı görülmektedir.

ANP yönteminin kullanıldığı birleşik modellere bakıldığında, aşağıda bilgileri verilen 10 uygulama görülmektedir:

- Sarı ve Timor (2016) tarafından yapılan çalışmada, otomotiv sektöründe lastik üretim işletmesinde tedarikçi seçimi için ANP-Taguchi ve ANP-Promethee yöntemlerinin kullanıldığı bir uygulama yapılmıştır. ANP ile belirlenen kriter ağırlıkları ile Taguchi ve Promethee yöntemleri üzerinden ayrı ayrı yapılan derecelendirme çıktıları karşılaştırılmıştır. Promethee yönteminin karmaşık ve özel seçim problemlerinde kullanım açısından daha basit olduğu belirtilmiştir.

- Ar ve arkadaşlarının (2015) çalışmasında Dematel, ANP ve Vikor yöntemleri birleşik şekilde kullanılarak kablo sektöründe bir uygulama yapılmıştır. Yapılan uygulamada, önerilen model ile elde edilen en uygun tedarikçi seçimine ait uzlaşık çözüm kümesi iki tedarikçiden oluşmuştur.

- Chen ve arkadaşları (2014) 3C Endüstrisi (Bilgisayar, İletişim, Müşteri) alanında yaptıkları uygulamada, ANP ile kriterlerin ağırlıkları belirlemişler ve ISM (Interpretive Structural Modeling) yöntemini kullanarak da kriterler arası ilişkileri belirleyerek, buna ait yapısal ilişki ağının haritasını oluşturmuşlardır. Çalışmada önerilen modelin işletme yönetiminin ihtiyaçlarına göre kriterlerin değiştirilmesi esasına dayalı etkin ve verimli bir tedarikçi seçim yöntemi olacağı belirtilmiştir.

- Kasirian ve Yusuff'ın (2013) çalışmasında, birleşik değiştirilmiş TOPSİS-ANP yöntemi kullanılmıştır. Durum çalışması yapılmış ve bu modelde AHP yöntemi çıktıları "Preemptive Goal Programming" uygulanarak karşılaştırılmıştır. Önerilen model ile yapılan seçim sonuçlarının, AHP'den alınan sonuçlara göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.

- Kuo ve Lin (2012) yüksek teknoloji alanında çevre ile ilgili "green" kriterlerin de kullanıldığı birleşik bir modeli uygulamıştır. Kriter ağırlıklarının ANP üzerinden belirlendiği bu modelde DEA (Data Envelopment Analysis) yöntemi ile tedarikçi derecelendirmesi yapılmıştır. Önerilen modelin; yüksek teknoloji uygulama alanında, sınırlı karar merkezleri ile güvenilir sonuçlar vermesi yanında kararlı bir yapıya sahip olduğu ortaya konulmuştur.

- Shahroudi ve Rouydel (2012) tarafından otomotiv sektöründe ANP-TOPSİS birleşik modeli kullanılarak tedarikçi seçimi uygulaması yapılmıştır. Çalışmada ele alınan uygulamanın, tedarikçi ile uzun dönemli ilişki, kalite seviyesi, düşük maliyet ve özel önem verilen konularda önemli avantajlar sağladığı ifade edilmiştir.

- Lin ve arkadaşlarının (2011) çalışmasında notebook üretim işletmesinde tedarikçi seçimi için ANP-TOPSİS metodu ile derecelendirme yapılmıştır. Bu çalışmada öncelikle yukarıdaki sürece göre tedarikçiler belirlenmiştir. Uygulamanın bir sonraki aşamasında, Doğrusal programlama kullanılarak tedarik miktarına göre tedarikçi seçilmiştir.

- Kuo ve arkadaşlarının (2010) elektronik üretim sektöründe kamara üreticisi bir işletmede tedarikçi seçimi için yaptıkları bir uygulamada ANP, ANN ve DEA yöntemlerinin birleşik şekilde kullanıldığı bir model gerçekleştirilmiştir. Bu birleşik DEA modeli için MADA (Multi-Attribute Decision Analysis) metodu denilmiş olup, uygulamada kullanılan geleneksel kriterlerle birlikte çevre kriterleri de kullanılarak yapılan çalışmada daha duyarlı ve ayırt edici derecelendirme sonuçları alınmıştır.

- Wu ve arkadaşlarının (2009) çalışmaları elektronik sektöründe notebook üretim alanında tedarikçi seçimi konusunda yapılan bir uygulama olup, kullanılan modelde ANP ve MIP (Karışık Tamsayı Programlama) yöntemleri birleşik şekilde uygulanmıştır. Paket olarak birlikte alınan ürünler için yapılan tedarikçi seçiminde en uygun seçimi yaptığı görülmüştür.

- Shyur ve Shih (2006) tarafından yapılan çalışmada Tayvan'da yerel bir varsayımsal işletme için yapay değerler üzerinden bir ANP- Değiştirilmiş TOPSİS birleşik uygulaması yapılmıştır. Önerilen yöntemin stratejik tedarikçi seçiminde kullanılmasının uygun olduğu, seçim sonucunda elde edilen uygun tedarikçi kümesi için ayırt edici olduğu ve uygun tedarikçi seçiminde alt kümelerin seçimi riskini ortadan kaldırdığı belirlenmiştir.

Birleşik modeller içerisinde sık kullanılan yöntem olarak karşımıza çıkan AHP metodunun kullanıldığı birleşik modellere bakıldığında, incelenen kaynaklar arasında buna ait 7 çalışma



bulunmaktadır. Bu çalışmalar arasındaki Kasirian ve Yusuff'ın (2013) önerdiği modele ait bilgiler yukarıda ANP kullanan modellerin incelendiği kısımda verildiğinden; aşağıda diğer 6 çalışmanın bilgileri verilmiştir:

- Chen ve Wu (2013) tarafından yapılan çalışmada MFMEA (Modified Failure Mode and Effects Analysis) ve AHP metodu birleştirilerek uygulanmıştır. Elde edilen sonuçta, daha etkin tedarikçi seçimi yapıldığı ve aynı zamanda da seçilen iş ortağı tedarikçinin daha düşük risk seviyesinde olduğu görülmüştür. Bunun yanında, seçim derecelendirmesi sonunda yeterli bulunmayan tedarikçiler için ileride iş ortaklığı için yeterli seviyeye gelebilmelerini sağlayacak düzeltme yapabilecekleri yönleri hakkında geri bildirim bilgileri elde edilmiştir.

- Fazlollahtabar ve arkadaşlarının (2011) yaptığı çalışmada uygulama alanı olarak bir çok ürün gamını içeren e-market seçilmiş olup, birleşik AHP-TOPSIS modeli uygulanmıştır. Öncelikle tedarikçi seçim kriterleri müşteri tercihlerine göre belirlenmiş olup, model üzerinde kriter ağırlıkları AHP ile hesaplanarak, TOPSIS yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucunda tedarikçi sıralaması yapılmıştır. Yapılan uygulamada, seçimi yapılan tedarikçiler için müşterinin talep ettiği ürünün etkin olması durumu ve müşteri memnuniyetinin sağlanması üzerinde ayrıca bir analiz de yapılmıştır.

- Supçiller ve Çapraz (2011) da AHP ile TOPSIS'i birleştirerek, mukavva üreten bir işletmenin tedarikçi seçimi için uygulama yapmıştır. Bu modeldeki tedarikçi seçim kriterlerini belirlerken, literatür araştırmasından elde edilen bilgiler ve işletmenin satın alma biriminin görüşleri dikkate alınmıştır. İşletmelerin tedarikçisini seçerken kendi özelliğine uygun kriterler belirlemek suretiyle incelenen bütünlümlü yöntemi uygulayabileceği belirtilmiştir.

- Alyanak ve Armane (2009) doğrusal programlamanın özel bir uygulaması olan hedef programlama GP (Goal Programming) yöntemini AHP ile birleşik model şeklinde uygulamıştır. Çalışma kapsamında, bir akü üretim tesisinde tedarikçi seçimi ve sipariş miktarlarının belirlenmesi problemini çözmek amaçlanmış olup, nicel ve nitel faktörleri göz önüne alarak en iyi tedarikçiyi seçmek ve buna göre en uygun sipariş miktarlarını belirlemek için kaynakta sunulan yapıyı temel alan bir yaklaşım önerilmiştir.

- Tseng ve Lin (2005) yaptıkları çalışmada, yukarıda incelenen modellere benzer şekilde ilk adımda AHP ile kriterlerin ağırlıklarını belirlemişler ve ardından birleşik model yapısında bu kriter ağırlıklarını kullanarak GRA (Grey Relational Analysis) yöntemiyle makina üretim sektöründeki bir işletme için tedarikçilerin derecelendirmesini gerçekleştirmişlerdir.

- Chan (2003) tarafından yapılan çalışmada AHP yöntemi ile ISM (Interactive Selection Model) yöntemi birleşik model olarak önerilmiş olup, bu kapsamda varsayımsal bir uygulama yapılmıştır. Önerilen birleşik modelin yapısal şeması verilmiş olup; bu yöntemin alıcı ile satıcının karşılıklı etkileşiminin olması ve geçerli veri toplama metodu bulunması durumlarının sağlanarak uygulandığı ifade edilmiştir.

Birleşik modellerden TOPSIS ile değiştirilmiş TOPSIS metotlarının kullanıldığı modellere bakıldığında, incelenen kaynaklar arasında buna ait 8 çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar arasındaki Kasirian ve Yusuff'ın (2013) önerdiği model, Shyur ve Shih (2006) tarafından yapılan çalışma, Lin ve arkadaşlarının (2011) önerdiği yöntem ve Shahroudi ve Rouydel'in (2012) uygulaması yukarıda ANP kullanan modellerin incelendiği kısımda verilmiştir. Fazlollahtabar ve arkadaşları (2011) ile Supçiller ve Çapraz'a (2011) ait çalışma da AHP yöntemini içeren birleşik modeller kısmında verildiğinden, aşağıda TOPSIS yöntemini içeren diğer 2 çalışmanın bilgileri bulunmaktadır:

- Pramanik ve arkadaşlarının (2017) çalışmasında bilgisayar üretim sektöründe, Fuzzy AHP, TOPSIS, QFD (Quality Function Deployment) ve Tedarikçi Seçim İndeksi (Supplier Selection Index, SSI) metotlarının kullanıldığı metodlarının kullanıldığı, esnek yapıda bir tedarikçi seçim yöntemi geliştirilmiştir. Bu model ile uygulama alanındaki belirsizliğin azaltıldığı ve daha gerçekçi sonuçlar alındığı belirtilmiş ve bilgi kaybı probleminin çözüldüğü ifade edilmiştir.

- Jajidi ve arkadaşları (2009) TOPSIS yöntemi ile varsayımsal örnek üzerinden tedarikçi sıralaması yapmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen ağırlıklar, sipariş miktarı ve fiyat ile birlikte Çok Amaçlı

Karışık Tamsayı Doğrusal Programlama (Multi-Objective Mixed-Integer Linear Programming, MOMILP) yöntemi uygulanarak çoklu ürün alımı için tedarikçi seçimi yapılmaktadır.

Yukarıda belirtilen çalışmalara bakıldığında, uygulanan modeller içerisinde ANP kullanılan birleşik yöntemlerden 2 tanesi TOPSİS, 2 tanesi de değiştirilmiş TOPSİS metodu olmak üzere toplamda TOPSİS metodunu baz alan 4 ANP-TOPSİS modelinin uygulandığı görülmüştür.

Buraya kadar olan kısımda, incelenen kaynaklar içerisinde sık kullanılan yöntemlerin bulunduğu birleşik modeller anlatılmıştır. İncelenen kaynaklarda bulunan diğer tedarikçi seçim modelleri içerisinde, tek bir yöntemin kullanıldığı çalışmalara ait modeller ile birleşik model olup da sık kullanılmayan diğer yöntemler de bulunmaktadır ve bunlar yine Çizelge 3 te görülmektedir. Birleşik modellerde ANP ve TOPSİS yöntemlerinin sık kullanıldığı görülmüştür.

### SEÇİM KRİTERLERİ (SELECTION CRITERIA)

Geçmişte tedarikçi seçimi için tanımlanan klasik anlamdaki kriterler, genel olarak fiyat ve daha detay açısından da fiyat rekabetiydi. Bununla birlikte, ihtiyaç duyulan ürün ve hizmetlerin bir değer yaratması ve belirli bir kalite seviyesini sağlaması ile rekabetçi avantajların geliştirileceği ifade edilmekteydi. Ancak günümüzde birçok satın almacı rekabetçi avantajları sağlamak için sadece fiyat ve kalite üzerinde odaklanmanın artık yeterli olmadığını kabul etmektedir. Onun yerine satın almacılar ihtiyaçlarını, tedarikçilerin daha kapsamlı ve daha yetkin olması olarak genişletmişlerdir (Madhukant, 2009).

Literatürde tedarikçi seçimi ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda birçok farklı kriter kullanılmıştır. Buna göre, tedarikçi seçimi çalışmalarında araştırmacıların sıklıkla kullandıkları kriterler; fiyat, kalite ve teslimattır. Bunun yanı sıra birden çok unsurun (finansal, teknik ve işletim) başarı ile yürütülmesi de önemli bir kriter olarak dikkati çekmektedir (Ar ve diğ., 2015). Tedarikçi değerlendirme faaliyetleri kapsamında kalite, maliyet, teslimat hızı, gerçekleştirilebilirlik ve yenilikçilik gibi pek çok değerlendirme kriteri tedarikçi seçiminde doğrudan rol oynamaktadır (Erdal, 2011).

Çalışma kapsamında incelenen literatür içerisinde, çok farklı kriter gruplarının söz konusu olduğu, ve her bir grup altında da farklı sayıda alt kriterlerin söz konusu olduğu görülmüştür. İncelenen çalışmalarda kullanılan kriter grupları, içerdikleri alt kriter sayılarına göre sıralanarak bu kriterlerin yer aldıkları ilgili çalışmalar Çizelge 4'de 36 kriter grubu altında özetlenmiştir. Her bir çalışma bazında kullanılan kriter grupları ve alt kriter sayısı ise Çizelge 5' te verilmiştir.

### Çizelge 4: Tedarikçi seçim kriterleri

Table 4. Supplier selection criteria

Kriter Grubu	Kriterin Kullanıldığı Çalışmanın Yazarı ve Yılı
Kalite	Aksoy ve Öztürk, 2011. Alyanak ve Arman, 2009. Amin ve Razmi, 2009. Amin ve Zhang, 2012. Ar ve diğ., 2015. Chan ve Chan, 2004. Chan, 2003. Chen ve diğ., 2014. Chen ve Wu, 2013. Chou ve Chang, 2008. Fazlollahtabar ve diğ., 2011. Golmohammadi, 2011. Hruska ve diğ., 2014. Huang ve Hu, 2013. Kasirian ve Yusuff, 2013. Kuo ve diğ., 2010a. Kuo ve diğ., 2010b. Kuo ve Lin, 2012. Lin ve diğ., 2011. Narasimhan ve diğ., 2001. Sari ve Timor, 2016. Sarkis ve Talluri, 2002. Shahroudi ve Rouydel, 2012. Shyur ve Shih, 2006. Supçiller ve Çapraz, 2011. Tseng ve Lin, 2005. Wu ve Liu, 2011. Wu ve Weng, 2010. Yıldız ve Yayla, 2017. Zeydan ve diğ., 2011. Kumar ve diğ. 2018.
Maliyet/Fiyat	Aksoy ve Öztürk, 2011. Alyanak ve Arman, 2009. Amin ve Razmi, 2009. Amin ve Zhang, 2012. Ar ve diğ., 2015. Chan ve Chan, 2004. Chan, 2003. Chen ve Wu, 2013. Chou ve Chang, 2008. Fazlollahtabar ve diğ., 2011. Golmohammadi, 2011. Hruska ve diğ., 2014. Huang ve Hu, 2013. Huang ve Keskar, 2007. Kasirian ve Yusuff, 2013. Kuo ve diğ., 2010b. Lin ve diğ., 2011. Narasimhan ve diğ., 2001. Pitchipoo ve diğ., 2015. Pramanik ve diğ., 2017. Sari ve Timor, 2016. Sarkis ve Talluri, 2002. Safa ve diğ., 2014. Shahroudi ve Rouydel, 2012. Shyur ve Shih, 2006. Supçiller ve Çapraz, 2011. Vahdani ve diğ., 2015. Wu ve Liu, 2011. Wu ve Weng, 2010. Yıldız ve Yayla, 2017. Kumar ve diğ. 2018.
Teslimat	Aksoy ve Öztürk, 2011. Ar ve diğ., 2015. Chan ve Chan, 2004. Chan, 2003. Chen ve Wu, 2013. Chou ve Chang, 2008. Fazlollahtabar ve diğ., 2011. Golmohammadi, 2011. Hruska ve diğ., 2014. Huang ve Hu, 2013. Jadidi ve diğ., 2009. Kasirian ve Yusuff, 2013. Kuo ve diğ., 2010b. Lin ve diğ., 2011. Narasimhan ve diğ., 2001. Pitchipoo ve diğ., 2015. Sari ve Timor, 2016. Safa ve diğ., 2014. Shahroudi ve Rouydel, 2012. Shyur ve Shih, 2006. Supçiller ve Çapraz, 2011. Vahdani ve diğ., 2015. Wu ve Liu, 2011. Wu ve Weng, 2010. Yıldız ve

	Yayla, 2017. Kumar ve diğ. 2018.
Tedarikçi	Alyanak ve Arman, 2009. Amin ve Zhang, 2012. Chou ve Chang, 2008. Hruska ve diğ., 2014. Kuo ve diğ., 2010a. Kuo ve Lin, 2012. Liao ve diğ., 2010. Safa ve diğ., 2014. Shyur ve Shih, 2006. Tseng ve Lin, 2005. Vahdani ve diğ., 2015. Wu ve Liu, 2011. Zeydan ve diğ., 2011.
Esneklik	Ar ve diğ., 2015. Chan ve Chan, 2004. Chen ve diğ., 2014. Huang ve Keskar, 2007. Kasirian ve Yusuff, 2013. Kuo ve diğ., 2010a. Pramanik ve diğ., 2017. Sarkis ve Talluri, 2002. Shahroudi ve Rouydel, 2012. Tseng ve Lin, 2005. Vahdani ve diğ., 2015. Wu ve Weng, 2010. Yıldız ve Yayla, 2017.
Servis	Alyanak ve Arman, 2009. Amin ve Razmi, 2009. Chan ve Chan, 2004. Chen ve diğ., 2014. Chen ve Wu, 2013. Fazlollahtabar ve diğ., 2011. Hruska ve diğ., 2014. Huang ve Hu, 2013. Kuo ve diğ., 2010b. Lin ve diğ., 2011. Shahroudi ve Rouydel, 2012. Shyur ve Shih, 2006. Vahdani ve diğ., 2015. Wu ve Liu, 2011.
Çevre	Amin ve Zhang, 2012. Chen ve diğ., 2014. Kuo ve diğ., 2010b. Kuo ve Lin, 2012. Sarı ve Timor, 2016. Vahdani ve diğ., 2015.
Teknoloji	Chen ve diğ., 2014. Chen ve Wu, 2013. Golmohammadi, 2011. Sarkis ve Talluri, 2002. Shyur ve Shih, 2006. Tseng ve Lin, 2005. Vahdani ve diğ., 2015. Wu ve Weng, 2010.
Üretim	Alyanak ve Arman, 2009. Amin ve Zhang, 2012. Huang ve Keskar, 2007. Kuo ve diğ., 2010a. Liao ve diğ., 2010. Pitchipoo ve diğ., 2015. Shahroudi ve Rouydel, 2012. Zeydan ve diğ., 2011.
Yönetim	Sarı ve Timor, 2016. Wu ve diğ., 2009. Wu ve Weng, 2010.
Performans	Fazlollahtabar ve diğ., 2011. Jadidi ve diğ., 2009. Liao ve diğ., 2010. Vahdani ve diğ., 2015. Kumar ve diğ. 2018.
Yenilik	Ar ve diğ., 2015. Chan ve Chan, 2004. Fazlollahtabar ve diğ., 2011.
Finansal Yetkinlik	Sarı ve Timor, 2016. Wu ve Weng, 2010.
Teknik	Chou ve Chang, 2008. Jadidi ve diğ., 2009. Wu ve diğ., 2009.
Uygulama	Kuo ve diğ., 2010a. Kuo ve Lin, 2012.
Kültür	Sarkis ve Talluri, 2002.
Özel Faktör	Jadidi ve diğ., 2009. Narasimhan ve diğ., 2001. Pramanik ve diğ., 2017.
Genel Kriterler	Pramanik ve diğ., 2017.
Profesyonellik	Kasirian ve Yusuff, 2013. Shyur ve Shih, 2006.
Değişken Maliyet	Wu ve diğ., 2009.
Sosyal Sorumluluk	Kuo ve diğ., 2010b.
İlişki	Sarkis ve Talluri, 2002.
Çalışma Şartları	Sarı ve Timor, 2016.
Operasyon	Wu ve diğ., 2009.
Ticari İmaj	Wu ve Weng, 2010.
Etkileşim	Liao ve diğ., 2010.
Konum	Aksoy ve Öztürk, 2011. Golmohammadi, 2011. Vahdani ve diğ., 2015.
Sabit Maliyet	Wu ve diğ., 2009.
Zaman	Sarkis ve Talluri, 2002.
Hizmet	Supçiller ve Çapraz, 2011.
Güven	Huang ve Keskar, 2007. Lin ve diğ., 2011.
Uzun Dönemli İlişki	Kasirian ve Yusuff, 2013.
Tasarım	Chan, 2003.
Verimlilik	Chen ve Wu, 2013.
Garanti	Pitchipoo ve diğ., 2015.
Proje Yönetimi	Zeydan ve diğ., 2011.
Saygınlık	Kumar ve diğ. 2018.

İncelenen çalışmalar içerisinde bulunan kriterlerden en çok kullanılan ilk on kriter göz önüne alındığında, bunların kalite, maliyet/fiyat, teslimat, tedarikçi, esneklik, servis, çevre, teknoloji, üretim ve yönetim olduğu görülmektedir. Tedarikçi ve servis kriterleri bir çok çalışmada yer alan ve şirketin tedarikçisi için kendi değerlendirmesine göre verdiği puanları temsil eden kriterlerdir. Bu sıralamayı takip eden beş kriter olan yenilik, performans, teknik, finansal yetkinlik ve uygulama kriterleri dikkate alındığında ise, bu kriter gruplarının altındaki alt kriterlerin ilk on kriter içerisinde yer alabileceği görülmektedir. Bu noktadan hareketle, araştırmada elde edilen kriterlerin on kriter başlığı altında toplanabileceği görülmüştür. Proje bazlı tedariklerin önem arz ettiği BİT sektörü açısından

değerlendirildiğinde, teknoloji, servis, esneklik ve içerisinde işbirliği unsurlarını barındıran yönetim kriterlerinin ön plana çıktığı görülmüştür.

İncelenen kaynaklar içerisindeki kriterlerin tekrar sayılarına bakıldığında, kalite, maliyet, teslimat, tedarikçi ve esnekliğe ait sayıların fazla olduğu görülmektedir. Bu kriterler, her sektörde kullanılan temel tedarikçi seçim kriterleri olarak değerlendirilebilir. Bu 5 kriteri takip eden kriterler tekrar sayılarına göre sırasıyla servis, çevre, teknoloji, üretim, yönetim ve yeniliktir.

**Çizelge 5. Tedarikçi seçim kriterleri grupları**

*Table 5. Supplier selection criteria groups*

Kaynak	Kriter Grubu																				Toplam																				
	Kalite	Maliyet/Fiyat	Teslimat	Tedarikçi	Esneklik	Servis	Çevre	Teknoloji	Üretim	Yönetim	Performans	Yenilik	Finansal Yetkinlik	Teknik	Kültür	Uygulama	Genel Kriterler	Özel Faktör	Profesyonellik	Çalışma Şartları		Değişken Maliyet	İlişki	Operasyon	Sosyal Sorumluluk	Etkileşim	Güven	Hizmet	Konum	Sabit Maliyet	Ticari İmaj	Uzun Dönemli İlişki	Zaman	Tasarım	Verimlilik	Garanti	Proje Yönetimi	Saygınlık			
Kumar ve diğ., 2018.	1	1	1																																				1	5	
Pramanik ve diğ., 2017.			4		5												5	3																						17	
Yıldız ve Yayla, 2017.	5	5	5		4																																			19	
Sarı ve Tumor, 2016.	4	3	6				5			6			3								4																		31		
Ar ve diğ., 2015.	3	3	4		4							3																												17	
Pitchipoo ve diğ., 2015.	1	1						1																												1			4		
Vahdani ve diğ., 2015.	1	1	8	1	1	1	1			1																	1												16		
Chen ve diğ., 2014.	3			4	3	3	3																				1												16		
Safa ve diğ., 2014.		2	1	1																																			4		
Hruska ve diğ., 2014.	1	2	2	4		1																																	10		
Chen ve Wu, 2013.	4	2	3		3	3																													2			17			
Huang ve Hu, 2013.	1	1	1		1																																		4		
Kasirian ve Yusuf, 2013.	3	4	4		4													4																	3			22			
Amin ve Zhang, 2012.	8	4	16			5	6																																39		
Kuo ve Lin, 2012.	4		3			4									4																								15		
Shahroudi ve Rouydel, 2012.	2	1	1		1	1		1																															7		
Aksoy ve Öztürk, 2011.	1	1	1																									1											4		
Fazlollahabari ve diğ., 2011.	2	2	3		3					3	2																												15		
Golmohammadi, 2011.	1	1	1				1																					1											5		
Lin ve diğ., 2011.	5	5	3			5																					2												20		
Supçiller ve Çapraz, 2011.	2	3	3																								3												11		
Wu ve diğ., 2009.																																							1		
Wu ve Liu, 2011.	1	1	1	1		1																																	5		
Zeydan ve diğ., 2011.	2			2				1																													1		6		
Kuo ve diğ., 2010a.	3		2	2				2							2																								11		
Kuo ve diğ., 2010b.	5	3	3			4	5																				4												24		
Liao ve diğ., 2010.				3				3	3																	3													12		
Wu ve diğ., 2009.																																							1		
Wu ve Weng, 2010.	8	5	6		4			5	5			4																								3			40		
Alyanak ve Arman, 2015.	3	2		6	6			3																															20		
Amin ve Razmi, 2009.	6	3			4																																		13		
Jadidi ve diğ., 2009.			1							1		1					1																						4		
Wu ve diğ., 2009.								4				4							4	4								1											17		
Chou ve Chang, 2008.	2	2	2	2									2																										10		
Huang ve Keskar, 2007.		3			1			3																			1												8		
Shyur ve Shih, 2006.	1	1	1	1	1	1	1										1																						7		
Tseng ve Lin, 2005.	1			1	1		1																																4		
Chan ve Chan, 2004.	3	3	5		3	3						3																											20		
Chan, 2003.	2	3	2																																		2		9		
Sarkis ve Talluri, 2002.	4	4			4		6							6								4													3			31			
Narasimhan ve diğ., 2001.	1	2	1														1																						5		
Genel Toplam	92	78	63	50	38	37	23	21	20	15	9	8	7	7	6	6	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1	546

## MODELLERİN ve SEÇİM KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

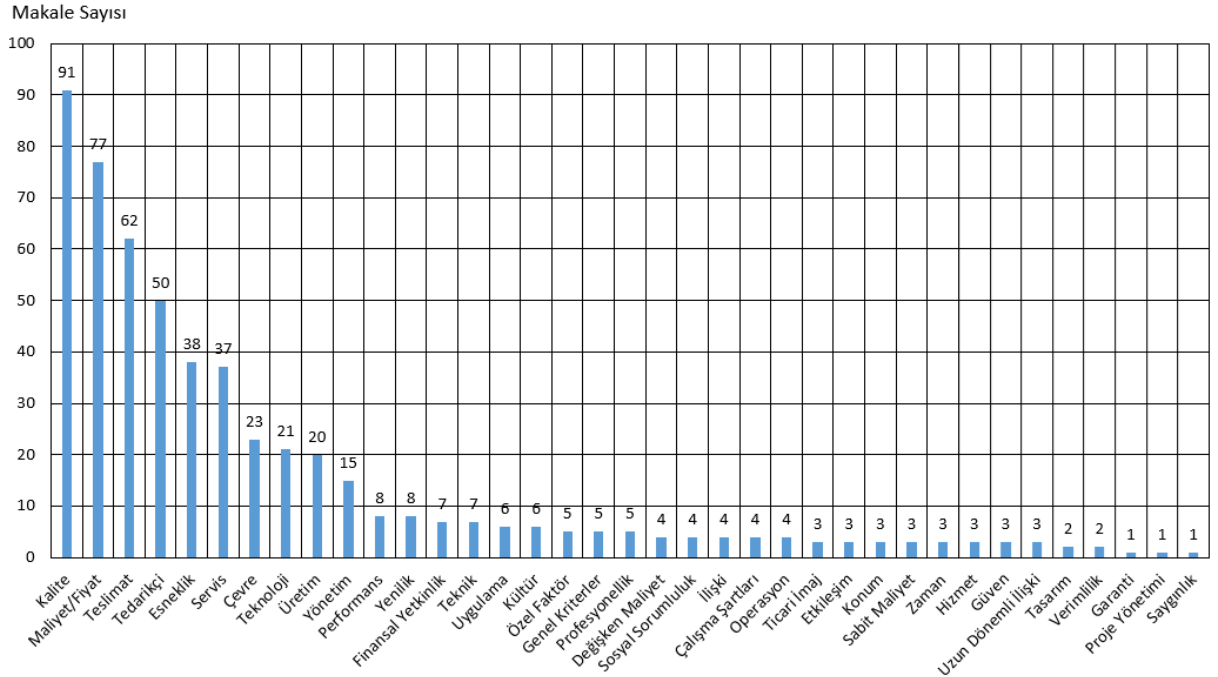
İncelenen kaynakların sektörel açıdan dağılımına bakıldığında; BİT alanında olduğu gibi benzer şekilde yoğun teknoloji içeren sektörler, Çizelge 6'de gösterildiği gibi belirlenebilir. Kaynakların yıllara göre dağılımında, özellikle son yıllarda yapılan güncel çalışmalar olduğu için, teknoloji ile ilgili sektörlerin çoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu yönüyle taranan kaynakların genel olarak BİT sektörü ile yakın ve ilişkili olduğu söylenebilir. Yüksek teknoloji içermeyen sektörler BİT kapsamında değerlendirilmemiştir. Örneğin üretim sektöründeki 3 çalışma için; Supçiller ve Çapraz'ın (2011) çalışmasında mukavva üretimi, Hruska ve arkadaşlarının (2014) çalışmasında ulaştırma alanında alt detayı verilmeyen bir üretim tesisi, ve Pitchipoo arkadaşlarının (2015) çalışmasında üretim sektöründe kaplama yapan bir işletme örneği ve Kumar ve arkadaşlarının (2018) çalışmasında ise çelik üreten bir işletme ele alınmıştır.

**Çizelge 6.** İncelenen kaynaklardaki sektörel dağılım

*Table 6. Distribution of articles with respect to sectors*

Sektör	Uygulama Sayısı	Yoğun Teknoloji İçeren
Elektronik Üretim	9	✓
Otomotiv	8	✓
Teknoloji	3	✓
Üretim Sektörü	4	
Varsayımsal İşletme	3	✓ (1)
Mekanik Üretim	2	
3C Endüstrisi (Bilgisayar, İletişim, Müşteri)	2	✓
Bilişim (ISP)	1	✓
Kablo Sektörü	1	
Kozmetik	1	
Otomotiv Aydınlatma Sistemleri	1	✓
Pil Üretimi	1	
TV Program	1	
Yapı Malzemeleri	1	
Elektronik Market	1	✓
<b>Toplam:</b>	<b>39</b>	<b>26</b>
<b>Toplama Göre Oranı:</b>		<b>% 66,66</b>

İncelenen çalışmalarda yer alan alt kriterler, farklı çalışmalar içerisinde aynı isimle veya aynı kriterin farklı isimle gösterilmesi şeklinde bulunabilmektedir. Bu hali ile bir Çizelgede ilgili kriter grubu altına toplanan alt kriterler, bir kriter havuzu olarak değerlendirilebilir ve kullanım amacına göre bu havuzdan kriter seçimi yapılması mümkün olabilir. Kaynaklardaki tekrar sayılarına göre gruplanmış olan kriterlerin dağılımı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Alt kriterlerin tekrar sayısına göre kriter grupları üzerindeki dağılımı.

Figure 2. Distribution of number of subcriteria appearance in each criteria group

Şekil 2'ye kriter grupları açısından bakıldığında ve çalışma alanı olan BİT sektörü için değerlendirildiğinde, her sektör için geçerli olan ilk 4 kriterden sonra gelen kriterler arasında esneklik, servis, çevre, teknoloji, üretim, yenilik ve işbirliği ile ilgili kriterlerin kullanımı ön plana çıkmaktadır.

Teknoloji, servis ve yenilik gibi kriterlerin fazla olmasının nedeni olarak, incelenen kaynakların yarıdan fazlasının çalışma alanının elektronik üretim, otomotiv ve teknoloji gibi güncel sektörler olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Kriter grupları altında dikkat çeken bir diğer nokta da, bu gruplar altında yer alan bazı alt kriterlerin bulunduğu grup altında değil de daha ilgili olduğu başka bir grup altında olması gerektiği görülmüştür. Buna bir örnek olarak, performans grubu altında bulunan kalite ve yönetim alt kriterleri gösterilebilir.

İncelenen birleşik modellerde görülen ortak nokta olarak, tedarikçi seçim kriterlerinin belirlenmesinde AHP veya ANP yöntemlerinin sık kullanıldığı açıkça görülmektedir. Kriter ağırlıkları belirlenirken AHP ve özellikle ANP yöntemlerinin kullanılması (Shahroudi ve Rouydel, 2012), her bir kriterin birbiriyle olan etkileşiminin de hesaba katılmasını sağladığından bu ağırlıklar kullanılarak yapılan hesaplamalarda işletme hedeflerine daha uygun sıralama sonuçlarının alınması hedeflenmektedir.

Ağırlıkların belirlenmesinden sonraki aşama olan tedarikçilerin sıralanması için kullanılan yöntem açısından bakıldığında ise TOPSİS yönteminin fazla sayıda kullanıldığı dikkat çekmektedir. Bu yöntem ideal çözüme en yakın mesafenin hesaplanmasını esas aldığından (Behzadian ve diğ., 2012), ANP ile elde edilen ve birbirinin etkilerini içeren kriter ağırlıkları kullanıldığında TOPSİS yöntemiyle yapılacak sıralamanın işletme için daha pratik olacağı söylenebilir (Kasirian ve Yusuff, 2013).

## SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada tedarikçi seçimi problemi BİT alanındaki işletmeler açısından ele alınmış ve içerisinde seçim uygulamaları bulunan farklı sektörlerdeki uygulamaları içeren 2000 yılı sonrasına ait güncel çalışmalar incelenmiştir. Kaynakların sektörel açıdan dağılımına bakıldığında; bu çalışmaların yaklaşık % 67 oranında yoğun teknoloji içeren sektörler olduğu görülmüş olup, teknoloji sektörü ağırlıklı bu çalışmaların BİT alanı incelemesi için uygun olduğu değerlendirilmiştir.

İncelenen kaynaklardaki uygulamalarda yer alan toplam 36 seçim kriteri grubu altındaki 546 alt kriter üzerinden yapılan değerlendirmede; kriterlerin kullanım sayısı açısından bakılmış olup, öncelikle her sektör için gerekli olan maliyet/fiyat, teslimat, kalite, tedarikçi (yetkinlik) ve servis gibi geleneksel kriterlerinin yoğun olarak kullanıldığı anlaşılmış, bunları takiben de esneklik, teknoloji (yenilik), çevre gibi yenilikçi kriterlerin geldiği görülmüştür. Kriterler üzerinde yapılan çalışmada detaylı analizler yapıldığından bu açıdan literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

İncelenen birleşik modeller bazında yapılan değerlendirmede, ANP ve TOPSİS metotlarının sık kullanıldığı görülmüştür. Bu yöntemlerin birleşik şekilde kullanılması ile kriterlerin birbiriyle etkileşimi seçim sürecine yansıtılmış ve ideal çözümün elde edilmesi için uygun yapı sağlanmıştır. Kaynaklardaki uygulamalar büyük oranda teknoloji ile ilgili alanlarda olduğundan ve yapılan çalışmalar son yıllara ait güncel yayınlar olduğundan, ANP ile TOPSİS yönteminin birleşik model şeklinde BİT alanında uygulanabileceği söylenebilir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda birleşik yöntemlerin sık kullanılmasından hareketle, ileride yapılacak uygulamalar için bu çalışmada görülen yöntemlerin farklı kombinasyonlardaki birleşik modeller şeklinde tasarlanması ve bu alanda yeni araştırmalar yapılması hem literatüre katkı açısından hem de BİT alanındaki tedarikçi seçimi konusuyla ilgili araştırmacılar için faydalı olacaktır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Aksoy, A., Öztürk, N., 2011, "Supplier Selection and Performance Evaluation in Just-In-Time Production Environments", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, pp. 6351-6359.
- Alyanak, G., Arman, Ö., 2009, "An Integrated Supplier Selection and Order Allocation Approach in a Battery Company", *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, Vol. 19, No.9, pp. 2-19.
- Amin, S.H., Razmi, J., 2009, "An Integrated Fuzzy Model for Supplier Management: A Case Study of ISP Selection and Evaluation", *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, pp. 8639-8648.
- Amin, S.H., Zhang, G., 2012, "An Integrated Model for Closed-Loop Supply Chain Configuration and Supplier Selection: Multi-Objective Approach", *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, pp. 6782-6791.
- Ar, M.İ., Gökşen H., Tuncer M.A., 2015, "Kablo Sektöründe Tedarikçi Seçimi İçin Bütünleşik DEMATEL-AAS-VIKOR Yönteminin Kullanılması", *Ege Akademik Bakış*, Vol. 15, No. 2, pp. 285-300.
- Behzadian M., Khanmohammadi Otaghsara S., Yazdani M., Ignatius J., 2012, "A state-of-the-art survey of TOPSIS applications", *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, pp. 13051-13069.
- Chan, F.T.S., 2003, "Interactive Selection Model for Supplier Selection Process: An Analytical Hierarchy Process Approach", *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No. 15, pp. 3549-3579.
- Chan, F.T.S., Chan, H.K., 2004, "Development of The Supplier Selection Model - A Case Study in The Advanced Technology Industry", *Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 218, pp. 1807-1824.
- Chen, P.S., Wu, M.T., 2013, "A Modified Failure Mode and Effects Analysis Method for Supplier Selection Problems in the Supply Chain Risk Environment: A Case Study", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 66, pp. 634-642.
- Chen, K.L., Yeh, C.C., Huang, J.C., 2014, "Supplier Selection Using a Hybrid Model for 3C Industry", *Journal of Business Economics and Management*, Vol. 14, No. 4, pp. 631-645.
- Chou, S.Y., Chang, Y.H., 2008, "A Decision Support System for Supplier Selection Based on A Strategy-Aligned Fuzzy SMART Approach", *Expert Systems with Applications*, Vol. 34, pp. 2241-2253.
- Erdal, M. 2011, *Satın Alma ve Tedarik Zinciri Yönetimi*, Beta Basım, İstanbul, Türkiye.
- Fazlollahtabar, H., Mahdavi, I., Ashoori, M.T., Kaviani, S., Mahdavi-Amiri, N., 2011, "A Multi-Objective Decision-Making Process of Supplier Selection and Order Allocation for Multi-Period Scheduling in An Electronic Market", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 52, pp. 1039-1052.
- Golmohammadi, D., 2011, "Neural Network Application for Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Problems", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 131, pp. 490-504.

- Hruska R., Prusa P., Babic D., 2014, "The Use of AHP Method for Selection of Supplier", *Transport*, Vol. 29, No. 2, pp. 195-203.
- Huang, J.D., Hu, M.H., 2013, "Two-Stage Solution Approach for Supplier Selection: A Case Study in a Taiwan Automotive Industry", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 26, No. 3, pp. 237-251.
- Huang, S.H., Keskar, H., 2007, "Comprehensive and configurable metrics for supplier selection", *International Journal of Production Economics*, Vol. 105, pp. 510-538.
- Jadidi O., Hong, T.S., Firouzi, F., 2009, "TOPSIS Extension for Multi-Objective Supplier Selection Problem under Price Breaks", *International Journal of Management Science and Engineering Management*, Vol. 4, No. 3, pp. 217-229.
- Kasirian, M.N., Yusuff R.M., 2013, "An Integration of A Hybrid Modified TOPSIS with A PGP Model for the Supplier Selection with Interdependent Criteria", *International Journal of Production Research*, Vol. 51, No. 4, pp. 1037-1054.
- Kumar, S., Kumar, S., Barman, A. G., 2018, "Supplier selection using fuzzy TOPSIS multi criteria model for a small scale steel manufacturing unit", *Procedia Computer Science*, Vo. 133, pp. 905 – 912.
- Kuo R.J., Lee L.Y., Hu T.L., 2010a, "Developing a Supplier Selection System Through Integrating Fuzzy AHP and Fuzzy DEA: A Case Study on an Auto Lighting System Company in Taiwan", *Production Planning & Control*, Vol. 21, No. 5, pp. 468-484.
- Kuo, R.J., Wang, Y.C., Tien, F.C., 2010b, "Integration of Artificial Neural Network and MADA Methods for Green Supplier Selection", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18, pp. 1161-1170.
- Kuo, R.J., Lin, Y.J., 2012, "Supplier Selection Using Analytic Network Process and Data Envelopment Analysis", *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 11, pp. 2852-2863.
- Liao, A.K., Chang, K.L., Tzeng-Wei, T., 2010, "Optimal Selection of Program Suppliers for TV Companies Using An Analytic Network Process ANP) Approach", *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, Vol. 27, No. 6, pp. 753-767.
- Lin, C.T., Chen, C.B., Ting, Y.C., 2011, "An ERP Model for supplier selection in electronics industry", *Expert Systems with Applications*, 38, pp. 1760-1765.
- Madhukant, J., 2009, "Retail Management. India: Gennext Publication.
- Narasimhan, R., Talluri, S., Mendez, D., 2001, Supplier Evaluation and Rationalization via Data Envelopment Analysis: An Empirical Examination", *The Journal of Supply Chain Management*, Vol. Summer 2010, pp. 28-37.
- Özel B., Özyörük, B., 2007, "Bulanık Aksiyomatik ile Tedarikçi Firma Seçimi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22/3, 415-423.
- Pitchipoo, P., Venkumar, P., Rajakarunakaran, S., 2015, Grey Decision Model for Supplier Evaluation and Selection in Process Industry: A Comparative Perspective", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 76, pp. 2059-2069.
- Pramanik, D., Haldar, A., Mondal, S.C., Naskar, S.K., Ray, A., 2017, "Resilient Supplier Selection Using AHP-TOPSIS-QFD Under A Fuzzy Environment", *International Journal of Management Science and Engineering Management*, Vol. 12, No. 1, pp. 45-54.
- Safa, M., Shahi, A., Haas, C.T., Hipel, K.W., 2014, "Supplier Selection Process in An Integrated Construction Materials Management Model", *Automation in Construction*, Vol. 48, pp. 64-73.
- Sarı, T., Timor, M., 2016, "Integrated Supplier Selection Model Using ANP, Taguchi Loss ve Promethee Methods", *Journal of Applied Quantitative Methods*, Vol. 11, No. 1, pp. 19-34.
- Sarkis, J., Talluri S., 2002, "A Model for Strategic Supplier Selection", *The Journal of Supply Chain Management*, Vol. Winter 2002, pp. 18-28.
- Shahroudi, K., Rouydel, H., 2012, "Using a Multi-Criteria Decision Making Approach ANP-TOPSIS) to Evaluate Suppliers in Iran's Auto Industry", *International Journal of Applied Operational Research*, Vol. 2, No. 2, pp. 37-48.



- Shen, K.Y., Zavadskas E. K., Tzeng G. H., 2018, "Updated discussions on 'Hybrid multiple criteria decision making methods: a review of applications for sustainability issues'", *Economic Research*, Vol. 31, No. 1, pp. 1437-1452.
- Shyur, H.J., Shih, H.S., 2006, "A Hybrid MCDM Model for Strategic Vendor Selection", *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 44, pp. 749-761.
- Supçiller, A.A., Çapraz, O., 2011, "AHP-TOPSIS Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi Uygulaması", *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, Vol. 13, pp. 1-22.
- Tseng, Y.J., Lin, Y.H., 2005, "A Model for Supplier Selection and Tasks Assignment", *The Journal of American Academy of Business*, Vol. 2, pp. 197-207.
- Vahdani, B., Behzadi, S., Mousavi S.M., 2015, "Artificial Intelligence Model Based on LS-SVM for Third-Party Logistics Provider Selection", *International Journal of Industrial Mathematics*, Vol. 7, No. 4, pp. 301-311.
- Wu, M., Liu, Z., 2011, "The Supplier Selection Application Based on Two Methods: VIKOR Algorithm with Entropy Method and Fuzzy TOPSIS with Vague Sets Method", *International Journal of Management Science*, Vol. 6, No. 2, pp. 109-115.
- Wu, W.Y., Sukoco, B.M., Li, C.Y., Chen, S.H., 2009, "An Integrated Multi-Objective Decision-Making Process for Supplier Selection with Bundling Problem", *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, 2 pp. 327-2337.
- Wu, M.Y., Weng, Y.C., 2010, "A Study of Supplier Selection Factors for High-Tech Industries in the Supply Chain", *Total Quality Management & Business Excellence*, Vol. 21, No. 4, pp. 391-413.
- Yıldız, A., Yayla, A.Y., 2017, "Application of Fuzzy TOPSIS and Generalized Choquet Integral Methods to Select the Best Supplier", *Decision Science Letters*, Vol. 6, pp. 137-150.
- Zeydan, M., Çolpan, C., Çobanoğlu, C., 2011, "A Combined Methodology for Supplier Selection and Performance Evaluation", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, pp. 2741-2751.

## THE EFFECT OF GRINDING MEDIA PERFORMANCE ON WET MILLING OF CALCITE

<sup>1</sup>Diler KATIRCIOĞLU BAYEL

<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, NİĞDE  
<sup>1</sup>dkatircioglu@ohu.edu.tr

(Geliş/Received: 19.10.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 13.01.2019)

**ABSTRACT:** This study aimed to conduct systematic research on the design of high-density zircon ( $ZrO_2$ ) grinding media (0.2-1 mm) in a laboratory-scale media mill (750 ml) for wet grinding of calcite ( $CaCO_3$ ,  $d_{50}= 5.4 \mu m$ ). Sub-micron grinding experiments were carried out by using different amounts of finer grinding media (25%, 50% and 75%) and different size ratio of finer-coarser media (0.2 and 0.5). Besides, the surface areas ( $S_{bw}$ ,  $m^2/kg$ ) of grinding media on grinding performance were investigated. If the best experimental results are compared (M1 and M4), it is found that the  $S_{bw}$  of the bimodal media (M4) is 75% larger compared to that of monosized media (M1). The experimental results were analyzed based on product size ( $d_{50}$ ,  $d_{80}$ ), cumulative undersize curves and specific surface area ( $S_w$ ,  $m^2/g$ ). The findings showed that only the finer grinding media was not very effective at 600 rpm.

**Key Words:** Calcite, Media size, Stirred media mill

### Kalsitin Yaş Öğütülmesinde Öğütücü Ortam Performansının Etkisi

**ÖZ:** Bu çalışmada, kalsitin ( $CaCO_3$ ,  $d_{50}=5,4 \mu m$ ) yaş öğütülmesi üzerine laboratuvar ölçekli bilyalı değirmende (750 ml) yüksek yoğunluğa sahip zirkon ( $ZrO_2$ ) bilya (0,2-1 mm) tasarımıyla sistematik bir çalışma amaçlanmıştır. Farklı miktarda ince bilya (%25, %50 ve %75) ve farklı ince-iri bilya oranları (0,2 ve 0,5) kullanılarak mikron-altı öğütme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, öğütücü ortamın yüzey alanlarının ( $S_{bw}$ ,  $m^2/kg$ ) öğütme performansına etkisi araştırılmıştır. En iyi deney sonuçları karşılaştırıldığında (M1 ve M4), karışık bilya boyut dağılımının (M4) yüzey alanı, tek tip bilya boyut dağılımının (M1) yüzey alanından %75 daha fazladır. Deneysel sonuçlar ürün boyutu ( $d_{50}$ ,  $d_{80}$ ), kümülatif elek altı eğrisi ve spesifik yüzey alanı ( $S_w$ ,  $m^2/g$ ) dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sadece ince boyutlu öğütücü ortamın 600 devir/dk hızda çok fazla etkili olmadığını gösteriyor.

**Anahtar Kelimeler:** Bilya boyutu, Kalsit, Karıştırmalı bilyalı değirmen

## INTRODUCTION

Grinding is an important particle size reduction method that is used widely in various industries. Nowadays, the necessity for so-called submicron particles and nanoparticles sizes keeps on rising in industries such as paints, ceramics, water proofing materials, mining with a developing technology. Researchers have studied several strategies to achieve better submicron and nano grinding performance (Cho et al., 2009; Kumar et al., 2010; Vital et al., 2001; Yokoyama and Huang et al., 2005; Patel et al., 2014). The product size characteristics of mills are mostly affected by media size (Mankosa et al., 1989; Kwade et al., 1996; Patel et al., 2014; Bel Fadhel and Frances, 2001; Wang and Forsberg, 2007).

Coarser grinding media exert high stress intensity in comparison to finer media at the same media filling ratio and stirring speed parameters. However, finer grinding media, due to their high number, increase the number of collisions (Kwade et al., 1996; Bel Fadhel and Frances, 2001). Bilgili et al. (2004)

reported that the use of mixed media sizes leads to improvement of nano grinding performance. If coarser grinding media are used for finer feed, this causes usage of a lot of energy. On the other hand, when finer grinding media are used for coarser feed, the transfer of stress energy is decreased. Finer grinding media cause faster size reduction but profit and loss accounts should be considered (Bel Fadhel and Frances, 2001). Nevertheless, coarser grinding media are more susceptible to wear than finer media, although their cost is lower in comparison to finer media (Breitung-Faes and Kwade, 2008). To obtain the desired particle size and optimize energy efficiency, one of the most useful techniques is to utilize coarser grinding media for coarser feed and finer media for finer feed (Wang and Forssberg, 2007).

This study, examined whether or not an improvement in submicron grinding performance of calcite may be achieved by using monosized and bimodal size media. Grinding experiments were conducted on calcite by using different combinations of grinding media sizes. The experiments were carried out by finer to coarser grinding media size ratio (0.2 and 0.5) and different amounts of finer grinding media (25 wt.%, 50 wt.% and 75 wt.%). The grinding results were evaluated by four parameters as product particle sizes ( $d_{50}$ ,  $d_{80}$ ), cumulative particle size and specific surface area ( $S_w$ ).

## MATERIAL AND METHOD

### Material

Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ,  $d_{50}=5.4 \mu\text{m}$ ) powders that were obtained from Mikron's (Nigde, Turkey) were used for the experiments. Table 1 shows the chemical compositions of the calcite feed measured by X-ray fluorescence (XRF), while Table 2 shows the physical characteristics of the calcite feed.

**Table 1.** The chemical composition of the calcite measured by XRF analysis (wt.%)

$\text{CaCO}_3$	$\text{MgCO}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	LOI (1050 C°)
99.5	0.2	0.01	0.01	0.02	0.26

**Table 2.** Physical characteristics of the calcite feed

Specific gravity( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Mohs hardness	Refractive index	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	$d_{80}$ ( $\mu\text{m}$ )	Specific surface area ( $\text{m}^2/\text{g}$ )
2700	3.0	1.59	5.4	13	2.26

A pycnometer was used to determine the specific gravity of the calcite powders and found it to be  $2700 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Figure 1 shows the result of the XRD pattern analysis of the calcite. As compared to the Joint Committee Powder Diffraction Standards (JCPDS), the main chemical component of the calcite was  $\text{CaCO}_3$ .

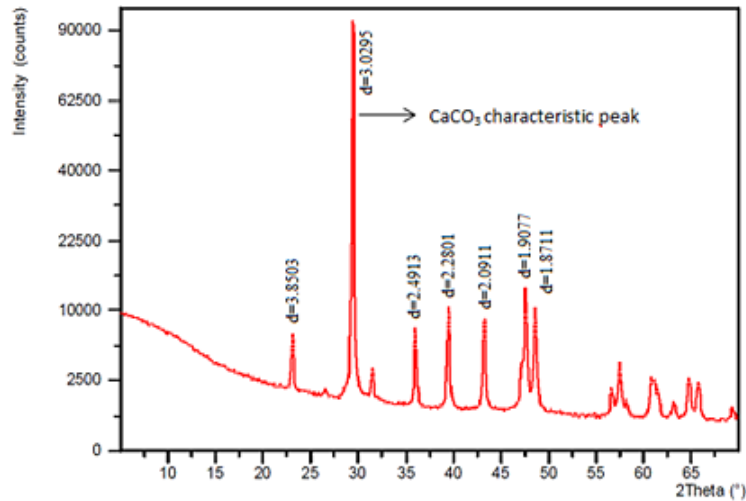


Figure 1. XRD pattern of feed calcite

Moreover, as dispersant, an amine-based grinding aid, which is commonly used in the calcite industry was selected. The density of this chemical is  $1.13 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ , and it was used to disperse the particles of  $\text{CaCO}_3$  in water. The chemical additive concentration was kept constant at 0.5% of calcite. Pure water was used for preparation of all suspensions. The high-density ( $6000 \text{ kg/m}^3$ ) yttria stabilized zirconia ( $\text{ZrO}_2$ ) grinding media (chemical composition: 93%  $\text{ZrO}_2$ , 5%  $\text{Y}_2\text{O}_3$  and 2% others) that were utilized for the submicron grinding tests were purchased from Cenotec Co., Ltd., Korea.

## Method

The grinding experiments were conducted in a vertical stirred media mill Standard-01 Model produced by Union Process (U.S.A.). The milling chamber had a net volume of 750 ml. For minimizing the amount of wear on the mill from the materials, the grinding chamber was made of ceramic ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). For cooling purposes, the grinding chamber was also equipped with a water jacket. The experimental conditions that were used in this study may be seen in Table 3. For example, M2 was carried out with a finer to coarser media size ratio of 0.5 by mixing 25 wt.% of finer (0.5 mm) grinding media into coarser media (1 mm). This study, considered the grinding media size of (1 mm) as coarser media, while grinding media of sizes 0.5 mm and 0.2 mm were considered as finer media. Different proportions of 25 wt.%, 50 wt.%, and 75 wt.% finer media were used. The solid mass fraction, stirrer speed, dispersant concentration, grinding media loading and grinding time were fixed at 20%, 600 rpm, 0.5 wt.%, 60% and 60 min, respectively.

**Table 3.** Experimental conditions used in the different runs

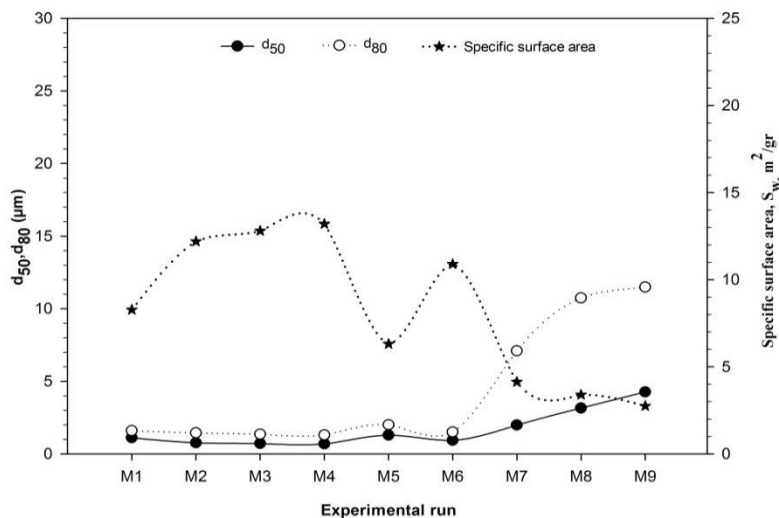
Run number	Grinding media size (mm)	Size ratio finer to coarser grinding media	Proportion of finer grinding media (wt.%)
M1	1	0	0
M2	1+0.5	0.50	25
M3	1+0.5	0.50	50
M4	1+0.5	0.50	75
M5	0.5	1	100
M6	1+0.2	0.2	25
M7	1+0.2	0.2	50
M8	1+0.2	0.2	75
M9	0.2	1	100

### Analysis

A Laser Diffraction Particle Sizer Malvern 2000 Ver. 2.00 (Malvern Co., Ltd., UK) was used to analyze the calcite feed and the ground product sizes and specific surface areas. Before determining particle size, for the measurement, samples of the suspensions were diluted and dispersed via ultrasound in 800 ml pure water. Each test had three replications. The results of the measurements are reported as average values. The X-ray fluorescence (XRF) analysis of the feed was carried out using a ZSXminill X-ray Spectrophotometer. PANalytical Empyrean was used to recover X-ray diffraction (XRD) patterns and examine the crystal buildup of the powder that was ground. Patterns in the diffraction angle range of  $2\theta = 5-70^\circ$  were recorded by using Ni-filtered  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda=0.15418$  nm) radiation with a measuring time of 8 s at each angle. A Zeiss Evo LS 10 microscope was used to obtain the SEM pictures of the calcite feed and the ground product.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Effect of Monosized and Bimodal Media Size on Submicron Grinding of Calcite



**Figure 2.**  $d_{50}$ ,  $d_{80}$  and specific surface area ( $S_w$ ) as a function of bimodal and monosized media

In Figure 2, the  $d_{50}$ ,  $d_{80}$  and specific surface area are shown as a function of bimodal and monosized media. When grinding experiments were carried out with coarser media (1 mm), the mean particle size ( $d_{50}$ ) was obtained as nearly  $1.1 \mu\text{m}$  (M1). When 25 wt.% of finer media of size (0.5 mm) was combined with 1 mm media, the particle size that was obtained about  $0.7 \mu\text{m}$  (M2). When the coarser media were

mixed with higher amounts of finer media, the observed results were improved (M3 and M4). This clearly revealed that addition of finer media improved the grinding performance. By adding higher ratios of finer (0.5 mm) media to coarser media (1 mm), further improvements were obtained the grinding results (M4). The mean particle size,  $d_{80}$  and specific surface area were obtained as 0.68  $\mu\text{m}$ , 1.3  $\mu\text{m}$  and 13.2  $\text{m}^2/\text{gr}$ , respectively. The mean particle size of about 1.3  $\mu\text{m}$  was obtained in M5. However, when 25-50-75 wt.% of finer media of size 0.2 mm was mixed 1 mm media, the product sizes increased (M6-7-8). The mean particle size of about 3.2  $\mu\text{m}$  was obtained in M8. When grinding was carried out with only the finer media size of 0.2 mm, the mean particle size was about 4.3  $\mu\text{m}$  (M9). Figure 3 shows the cumulative particle size distribution of calcite under different experimental conditions. The best results were provided by M4 in terms of particle size.

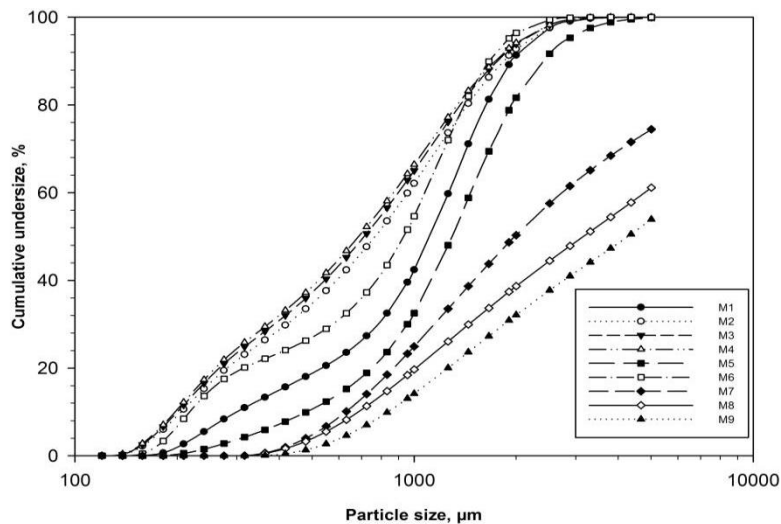


Figure 3. Cumulative particle size distribution under different experimental conditions

Figure 4 shows the effects of monosized media (0.2, 0.5 and 1.0 mm), (M1, M5 and M9) on the particle size distribution. M1 provided the best mean particle size.

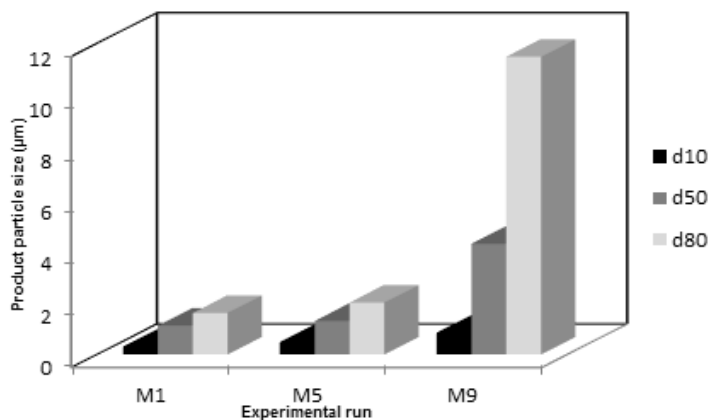
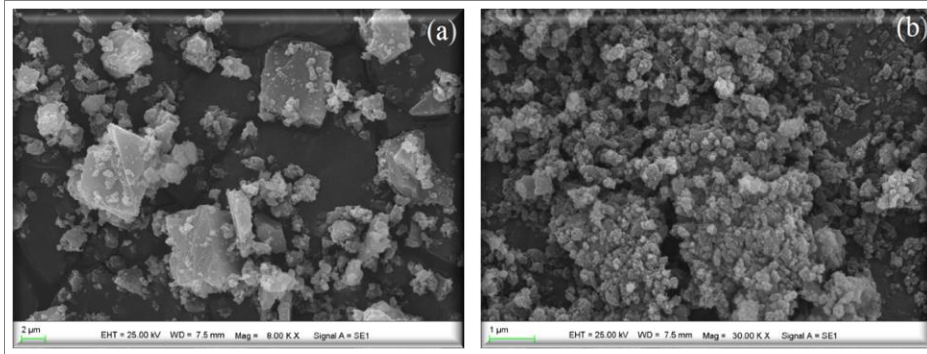


Figure 4. Effect of monosized grinding media on product particle size of calcite

By creating high energy intensity, stirrer speed increases the possibility of media-particle collision in the main chamber. When finer media were used under a lower speed, there was very little effect.

As a result of the experimental studies conducted by Tüzün (1994) and Yue et al. (2006), while it was more efficient to use coarser grinding media in comparison to finer grinding media at low stirrer speeds,

it was more efficient to use finer grinding media in comparison to coarser grinding media at high stirrer speeds.



**Figure 5.** Scanning electron micrographs of calcite: (a) feed and (b) the best result (M4)

### Effect of Surface Area of Grinding Media on Submicron Grinding Process

Calculation of the surface area for monosized and bimodal grinding media were evaluated using Eq. 1. The surface area ( $m^2/kg$ ) ( $S_{bw}$ ) derived from Kotake et al. (2014) is:

$$S_{bw} = \frac{6}{\rho} \sum_{i=1}^n \frac{f_i}{D_{bi}} \quad (1)$$

Where  $S_{bw}$  ( $m^2/kg$ ) is the surface area for monosized and bimodal grinding media,  $D_{bi}$  is the media diameters,  $f_i$  is the mass fraction for each media diameter, and  $\rho$  ( $kg/m^3$ ) is the true density of grinding media.

The most effective grinding in the media mill was achieved by an increased number of collisions between grinding media and particles. Figure 6 shows the experimental run versus surface area ( $S_{bw}$ ). From the results, maximum surface area ( $S_{bw}$ ) was obtained with experimental run M9. But when finer media was used at a lower speed, the effects on particle size were very little. If the best experimental results are compared (M1 and M4), it is found that the  $S_{bw}$  of the bimodal media (M4) is 75% larger compared to that of monosized media.

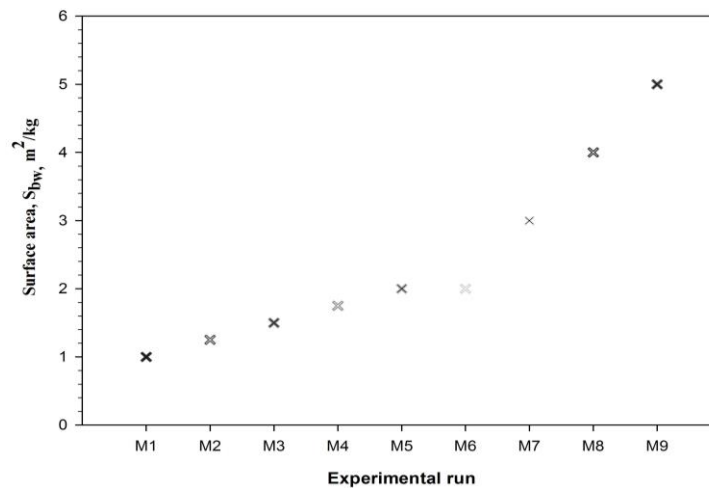


Figure 6. Surface area ( $S_{bw}$ ) for monosized and bimodal grinding media

## CONCLUSION

In this study, the influence of monosized (0.2, 0.5 and 1.0 mm) and bimodal (0.2-1 mm) media size grinding design on wet grinding of calcite were investigated. The performance of finer to coarser grinding media size ratio of 0.2 and 0.5 were analyzed. The grinding tests carried out with stirred media mill showed that:

- Experimental results show that only the finer grinding media was not very effective at 600 rpm. Much smaller product particles with finer grinding media can be obtained with a high stirrer speed.
- Proper selection of media size improves the grinding efficiency.
- The optimum conditions for the grinding performance were obtained with bimodal media (M4) and average particle size ( $d_{50}$ ) is 0,68  $\mu m$ .
- If the best experimental results are compared (M1 and M4), it is found that the  $S_{bw}$  of the bimodal media (M4) is 75% larger compared to that of monosized media (M1).

## REFERENCES

- Bel Fadhel, H. and Frances, C., 2001, "Wet batch grinding of alumina hydrate in a stirred bead mill", *Powder Technology*, 119, (2-3), 257-268.
- Bilgili, E., Hamey, R., Scarlett, B., 2004, "Production of Pigment Nanoparticles Using a Wet Stirred Mill with Polymeric Media", *China Particuology*, 2, 93-100.
- Breitung-Faes, S. and Kwade, A., 2008, "Nano particle production in high-power-density mills" *Chemical Engineering Research and Design*, 86, 4, 390-394.
- Cho, K., Chang, H., Kil, D. S., Kim, B. G., Jang, H. D., 2009, "Synthesis of dispersed  $CaCO_3$  nanoparticles by the ultrafine grinding", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 15, 243-246.
- Kotake, N., Matsumoto, K., Sekine, Y., Gunji, S., Kezuka, H., 2014, "Effect of Poly-sized and Mono-sized Grinding Media on Fine Grinding of Limestone in a Bead Mill", *International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources*, 20, 147-153.
- Kumar, P., Sahoo, B. K., De, S., Kar, D. D., Chakraborty, S., Meikap, B. C., 2010, "Iron ore grindability improvement by microwave pre-treatment", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16, 805-812.
- Kwade, A., Blecher, L., Schwedes, J., 1996, "Motion and stress intensity of grinding beads in a stirred media mill: Part II. Stress intensity and its effect on comminution", *Powder Technology*, 86, 69-76.



- Mankosa, M. J., Adel, G. T. and Yoon, R. H., 1986, "Effect of media size in stirred ball mill grinding of coal", *Powder Technology*, 4, 75–82.
- Patel, C. M., Chakraborty, M., Murthy, Z. V. P., 2014, "Enhancement of stirred media mill performance by a new mixed media grinding strategy", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 2111-2118.
- Tüzün, M. A., 1994, "A study of comminution in a vertical stirred ball mill", Ph.D. Dissertation, Chemical Engineering Department, University of Natal.
- Vital, A., Zurcher, S., Dittmann, R., Trottmann, M., Lienemann, P., Bommer, B., Graule, T., Fadhel, H. B., Frances, C., 2001, "Wet batch grinding of alumina hydrate in a stirred media mill", *Powder Technology*, 119, 257-268.
- Wang, Y., Forsberg, E., 2007, "Enhancement of energy efficiency for mechanical production of fine and ultra-fine particles in comminution", *China Particuology*, 5, 193–201.
- Yokoyama, T., Huang, C. C., 2005, "Nanoparticle technology for the production of functional materials", *Kona*, 23, 7–17.
- Yue, J., and Klein, B., 2006, "Effects of bead size on ultrafine grinding in a stirred bead mill", *Advances in Comminution*, Kawatra S. (ed.), Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.

## PROPERTY VALUE ASSESSMENT USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS, HEDONIC REGRESSION AND NEAREST NEIGHBORS REGRESSION METHODS

Hasan YILDIRIM

*Statistics, Kamil Özdağ Faculty of Science, Karamanoğlu Mehmetbey University, Karaman, Turkey*  
[hasanyildirim@kmu.edu.tr](mailto:hasanyildirim@kmu.edu.tr)

(Geliş/Received: 09.07.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 22.01.2019)

**ABSTRACT:** In this paper, hedonic regression, nearest neighbors regression and artificial neural networks methods are applied to the real and up to date estate data set belongs to Adana province of Turkey. Traditionally, hedonic regression methods have been used to predict house prices. Because of the nature of the relationships between the factors affecting house prices are generally being nonlinear; some alternative methods have been needed. Nearest neighbors regression (k-nn) and artificial neural networks (ANN) present both flexible and nonlinear fittings. Classical hedonic approach and its nonlinear alternatives have been employed on a mixed types data set and compared based on some performance measures including root mean squared error, the coefficient of determination (R squared), the coefficient of determination, and mean absolute error. Cross validation method has been used to determine the appropriate model parameters for nearest neighbors and ANN. According to the results, ANN is found better when compared to other methods in terms of all measures. Besides, k-nn regression method provides reasonable results despite of lower performance than hedonic regression method. It has been seen that ANN is a powerful tool for predicting house prices.

**Key Words:** *Artificial neural networks, Hedonic regression, Housing prices, Nearest neighbors regression, Turkey*

### Yapay Sinir Ağları, Hedonik Regresyon Ve En Yakın Komşuluk Regresyon Metotlarını Kullanarak Emlak Fiyatlarının Belirlenmesi

**ÖZ:** Bu çalışmada hedonik regresyon, en yakın komşu regresyon ve yapay sinir ağları metotları Türkiye'nin Adana iline ait gerçek ve güncel bir veri seti üzerinde uygulanmıştır. Geleneksel olarak, ev fiyatlarının tahmininde hedonik regresyon metotları kullanılmaktadır. Ev fiyatlarını etkileyen faktörler arasındaki ilişkilerin yapısının genel olarak doğrusal olmaması nedeniyle bazı alternatif metotlara ihtiyaç duyulmaktadır. En yakın komşuluk regresyon ve yapay sinir ağları hem esnek hem de doğrusal olmayan uyumlar sunmaktadır. Klasik hedonik regresyon yaklaşımı ve doğrusal olmayan alternatifleri karma yapıda ki bir veri kümesine uygulanmış ve hata kareler ortalaması, belirleyicilik katsayısı (R kare) ve ortalama mutlak hatayı içeren bazı performans ölçütlerine dayanarak karşılaştırılmıştır. En yakın komşu ve yapay sinir ağları için uygun model parametrelerini belirlemek için çapraz geçerlilik metodu kullanılmıştır. Sonuçlara göre, yapay sinir ağları diğer metotlarla karşılaştırıldığında tüm ölçülere göre daha iyi bulunmuştur. Ayrıca en yakın komşu metodu hedonik regresyon metodundan daha düşük performanslı olmasına rağmen makul sonuçlar sağlamaktadır. Yapay sinir ağlarının ev fiyatlarının tahmininde güçlü bir araç olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** *En yakın komşuluk regresyon, Ev fiyatları, Hedonik regresyon, Yapay sinir ağları, Türkiye*

## INTRODUCTION

Traditionally, having a house has been one of the main goals of a human being and placed at the central to the entire life. One reason of this situation is that a house has been met the need of shelter

which is the most fundamental and vital need of us. In other respects, it offers a profitable and wisely investment opportunity. Both being a property and a investment asset, the real estate market has own unique and different characteristics. These characteristics are high cost of supply, heterogeneity, durability, locational fixity, the possibility to raise loans against housing collateral, the existence of a well-developed secondary market (Iacoviello, 2000:10; Quigley, 1992 and Miles, 1992).

House market is a composite market including many components such as potential owners, building contractors, investors, appraisers, banks, assurers, consultants, market researchers, lenders, developers and so forth (Frew and Jud, 2003; Selim, 2009). As a consequence of this property, a precise and fair estimation of sales price of a house has a particular and great concern. Making mistake on determining the price cause some undesirable results such as increasing or decreasing property tax, excessive profit in favor of some groups or affecting potential homeowners negatively.

Accurately predicting the housing price is not easy and clear problem because of including numerous factors. Structural, locational and enviromental properties of a house affect the price. There is no definite study to choose the exact attributes or properties. A great deal of previous researches have been focused on determining the most important factor on a house price. Several estimation models have been proposed as tools to predict the market price of a house precisely. These models provide some useful insights for understanding individual effects of any attribute on the price. Estimation models were classified into two groups as traditional and advanced by Pagourtzi et al. (2003). In this mentioned study, it was emphasized that models created by assuming an underlying form between the attributes and the prices as traditional. Regression models can be given as example to this kind of models. On the other hand, advanced models are based on mimicking human being. Artificial neural networks, fuzzy logic and ARIMA models are part of advanced methods.

In housing market, hedonic regression methods have been often used. These methods are based on multiple regression except a conceptional differences. The term hedonic refers to "weighting of the relative importance of various components among others in constructing an index of usefulness and desirability" (Goodman, 1998). It originates from microeconomic theory (Lancaster, 1966). While assuming an underlying form between the attributes of a house and the price makes the inference easier, there no clear and obvious way on determining the optimal form. The existing literature on this topic is not so much because of insufficient guidance from economic theory about the proper function (Bin, 2004). Most of the studies focused on estimating the sale price of a house by using some flexible and nonlinear forms which some of them were based on Box-Cox transformation approaches (Box and Cox, 1964). This approach have been aroused interest of researchers and widely used to get better insights. When applying a tranformation on price sounds an attractive option, it is so straightforward and causes many problems on fitting. A notable one is the choice of the proper function. In addition, feature selection is another problem. Problems could be extented as having outliers, nonlinear relationship between attributes and price values, some kind of dependencies, multicollinearity and so on. As a reasonable result of this situation, different approaches have been tried on predicting the housing price. Artificial neural networks and nearest neighbors regression methods have been preferred by the reason of not assuming any underlying functional form between attributes and the price of a house.

Artificial neural networks is a computational and nonlinear statistical modelling method being inspired biological neurons of human beings. It can be used to investigate the relationships between the attributes and price of a house. A neural network basically learns by observing the data itself. Some useful patterns are being searched and used for updating the networks parameters. Some artificial neural networks like multilayer perceptrons (MLP) are being considered as a kind of multiple regression methods because of having structural similarities. Artificial neural networks are parts of non-parametric method by the reason of not assuming any underlying functional form. Nonparametric methods provide more flexible options. A different and well-known member of these methods is nearest neighbors regression method. This method is generally known as k-nearest neighbourhood regression method (k-nn regression). By choosing an optimal k number, it discovers k closest different units to a given one and

uses them to estimate it (James et al., 2013). The value of  $k$  is so significant on solution and flexibility of the model.

In this paper, the main goal is to search the efficiencies of  $k$ -nn regression method via Gower measure which is a mixed type distance measure, hedonic regression method and artificial neural networks on the property appraising. Additionally, it has been investigated whether the selection of parameters in  $k$ nn regression and artificial neural networks by using cross validation affect the performance or not. Therefore, causal factors of house prices are being investigated in Adana province of Turkey. Data set has been retrieved from a popular real estate website. Hedonic regression, artificial neural networks and  $k$ -nearest neighbors regression methods have been employed and compared with one another. The number of hidden layers and nodes for artificial neural networks and the appropriate  $k$  value for  $k$ -nn regression are determined via cross validation method. In  $k$ -nn regression, Gower distance is employed to calculate the distances and the estimations due to existence of mixed types data set.

This paper is organized as follows. Section 2 shortly reviews the literatures including the aforementioned methods. The details and definitions of hedonic regression, nearest neighbors regression and artificial neural networks are given in Section 3. Section 4 consists of some information about the data set and comparison the results of three methods. Finally conclusions are reported and discussed in Section 5.

## RELATED LITERATURE REVIEW

In the literature, most of the studies have been carried out by comparison of several methods which may be useful for predicting house prices. The number and types of attributes are variable. Multiple linear regression, hedonic regression, fuzzy logic, artificial neural networks, memory based reasoning, semi parametric regression methods have been commonly used in these studies. As performance measures, mean squared error, root mean squared error,  $r$  squared, mean absolute error, Theil's  $U$  statistic are the preferred measures.

One of the first usage of artificial neural networks (ANN) was carried on the data sets of family residences in England by Borst (1991). Tay and Ho (1992) compared the performance of the back propagation neural network (BP) model and the multiple regression analysis (MRA) model in terms of estimating house sale prices. Similar to Tay and Ho's study, Worzala et al. (1995) applied ANN to real estate appraisal and compared the results with MRA. In this study, it was found that neural networks were not superior than classical approaches. Rossini (1996) reviewed the literature and used ANN to compare its results with MRE and the actual sale prices. The results in Rossini's study are variable and there is no single best method. It was aimed to clarify the usage of ANN for estimating sale prices. Cechin et al. (2000) applied multilayer perceptron neural network and ordinary regression analysis to determine an apartment's monetary worth appraisement at the Porto Alegre city located in Southern Brazil. Neural network was mainly preferred in this study due to the nonlinearity between attributes. Nguyen and Al Cripps (2001) compared ANN and MRA to predict housing prices for single families depending on various data models including the different samples size, the functional forms and the temporal prediction. Some explanations about the usage of ANN and MRA are summaries giving the performance results of comparisons. Limsombunchai and Samarasinghe (2004) compared the predictive power of the hedonic regression model and an artificial neural network model for house price prediction by using a web database in Christchurch, New Zeland. The results of this study suggested to use ANN by emphasize some comments about the black box nature of it and providing variables results in different conditions. Bin (2004) carried out a study including the usage of semi-parametric regression and the comparison with traditional parametric models in terms of prediction performance on housing prices. Semi-parametric regression outperformed the parametric counterparts in this study. Zurada et al. (2006) used fuzzy logic and memory-based reasoning in evaluating residential property values for a real data set and compared them with neural networks and multiple regression. In this study, principal component analysis and variable selection were employed to improve the quality of the results. The

results showed that there was no single superior method for the data set. Khalafallah (2008) used the neural networks based models for predicting house market performance on testing and validation processes. The prediction error was found in the range between -2% and +2% in this study. Selim (2009) applied hedonic regression analysis and ANN to determine the factors of house prices in Turkey. ANN was found a powerful and better alternative than classical hedonic regression in terms of predicting performance. Mousa and Saadeh (2010) built an ANN model for the purpose of automatic appraisal of Jordanian estates to avoid the drawbacks of manual appraisal by using Genetic Algorithm for determining the best networks structure. Some statistical tests were carried out to validate the effectiveness of the proposed method. Kontrimas and Verikas (2011) used the ordinary least squares (OLS), support vector machine (SVM) regression, multilayer perceptron (MLP) and a committee of predictors and compared them. The proposed committee of models outperformed all other predictors. Sampathkumar et al. (2015) applied multiple regression and neural networks for predicting land prices in the state of Tamilnadu, India. The results in this study showed that both models fitted well but neural networks provided better accuracy. Abidoeye and Chan (2017) applied ANN for modelling property values in Nigeria and found that ANN could be used as a tool to get reliable and accurate property valuation.

## MATERIAL AND METHODS

### Hedonic Regression Method

As mentioned before, hedonic term is defined as “the weighting of the relative importance of various components among others in constructing an index of usefulness and desirability” (Goodman, 1998). Hedonic price model indicates that each one of the characteristics of nonhomogenous goods provides different profit or some degree of utility. This model is generally used for determining the fair and accurate price of a good in its market. This approach is originated from the consumer theory developed by Lancaster (1966) and extended to the real estate market by Rosen (1974). The traditional use of hedonic estimation in housing studies has been for the purpose of making inferences about non-observable values of different attributes like air quality, airport noise, commuter access (railway, subway or highway) and neighborhood amenities (Janssen et al., 2001; Selim, 2009). Besides it has been widely used for valuation of agricultural goods, real estate pricing and environmental studies (Limsombunchai and Samarasinghe, 2004).

Multiple regression model has same purpose and usage with hedonic approach. The concept of hedonic can be transferred into regression analysis. The properties of a house refer to the independent variables and the price of a house is the dependent variable. Actually, regression analysis is known as hedonic price model in the real estate or similar markets including valuation of any good (Selim, 2009). Let  $Y$  is the dependent variable,  $X$ 's are the independent variables and  $\beta$ 's are the individual coefficients for each variable and then the hedonic price model is defined as follows:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \varepsilon \quad (1)$$

This model is exactly same with multiple linear regression model. However, many different functional forms can be used in this model. The existing literature on this topic is not so much because of that there is insufficient guidance from economic theory about the proper function (Bin, 2004). That's why there is no obvious and effective way to determine the appropriate form but linear, logarithmic and squared forms have been too often used. The most preferred functional form is the semi logarithmic form because of that it makes possible to interpret every coefficient as being the proportion of a good's price (Halvorsen and Palmquist, 1980). This basically means that the natural logarithm of the house price is treated as new dependent variable and ordinary least squares approach is applied by using this new

variable. It should be noted that some considerations like outliers, nonlinear relationship between attributes and price values, some kind of dependencies, multicollinearity etc have to be attentively examined in models including some transformations.

### Nearest Neighbors Regression Method

Nearest neighbors regression a non-parametric and flexible method which does not assume an underlying functional form for model (James et al., 2013). The conceptional expression of this method is so simple and straightforward when compared to other competitors. It is well-known as k-nearest neighbors regression (k-nn regression) method. The knn approach basically uses the k-closest samples to predict a new unit.

The k-nn regression method can not be defined as a traditional model because of dependency individual samples in data set. In this method, a new sample is predicted by the mean of the k closest neighbors values (Kuhn and Johnson, 2013). Given a new samples, say  $x_0$ , and k value, the k-nn regression discovers the k closest samples to this given sample. When  $T_0$  is defined as the set of this k samples, the prediction of this new samples is calculated as follows (James et al., 2013):

$$\hat{f}(x_0) = \frac{1}{k} \sum_{x_i \in T_0} y_i \quad (2)$$

As a measures of this closeness, Euclidean distance is the most commonly used metric in the literature. This metric is defined as follows:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^k (x_{mi} - x_{ni})^2} \quad (3)$$

Here  $x_m$  and  $x_n$  are any two samples in the data set. Minkowski distance measure is generalized version of Euclidean distance and defined as (Liu, 2007; Kuhn and Johnson, 2013):

$$\sqrt[t]{\sum_{i=1}^k |x_{mi} - x_{ni}|^t}, t > 0 \quad (4)$$

It can be clearly seen than when  $t = 2$ , this metric is equivalent to Euclidean distance. Besides, when  $t=1$ , it corresponds to City block distance. City block is generally used to find the distance between binary variables. On the other hand, some popular alternatives like Cosine, Hamming, Jaccard, Tanimoto, Simple Matching measures have been used for different purposes in different contexts and areas. Not only the choice of distance measures but also the scale of the variables is critical in terms of model prediction performance. When the data set includes mixed types of measures, Gower distance can be used to calculate the distances between samples. For this reason, to avoid this potential bias and to make possible each independent variables to contribute equally to the distance, scaling and centering the independent variables is suggested before applying the knn method (Kuhn and Johnson, 2013).

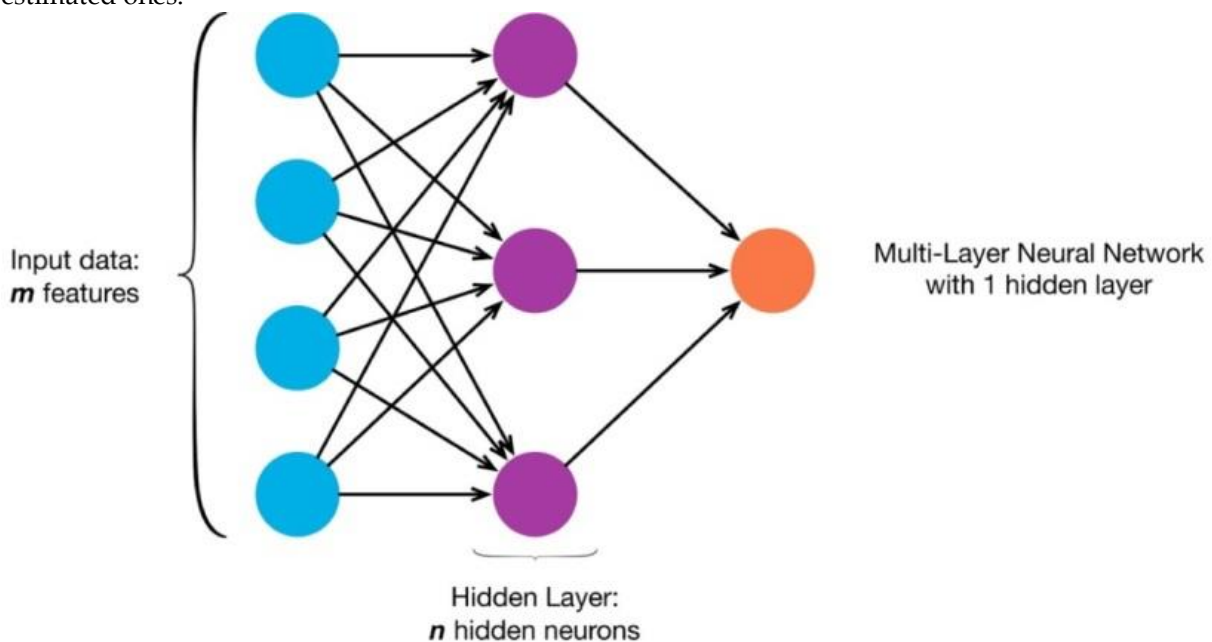
Another consideration is not to have any missing values in data set. If exists, computing the distance between units is impossible. As a tuning parameter, the number of neighbors, k, plays key role on the results. As this value increases, the fit will be less variable and this means that results have high bias but low variance. To get more flexible fit, a smaller K value should be choosen. Inversely to the large value, this creates a model having high variance but low bias. In terms of bias-variance tradeoff, k value should

be determined carefully by using some resampling techniques such as cross-validation (James et al., 2013; Kuhn and Johnson, 2013).

**Artificial Neural Networks**

Artificial neural networks (ANN) is a computational and nonlinear statistical modelling method being inspired biological neurons of human beings (Bishop, 1995; Kuhn and Johnson, 2013). It has been widely used in many areas such as aerospace, automotive, banking, defense, electronics, entertainment, financial, insurance, manufacturing, medical, oil and gas, robotics, speech, securities, telecommunications and transportation (Demuth et al., 2014). ANN can also provide accurate predictions in regression context. It can be seen as nonlinear regression methods (Selim, 2009).

A neural network structure consists of many sub-components such as weights, nodes, layers and activation functions. There are mainly three layers named input layer (includes independent variables values), hidden layer (includes a certain number of processing units, nodes) and the output layer (gives the estimated values of the dependent variable). Weights are generally randomly chosen from a distribution between a determined range values such as [-1,1]. The remain component, activation function produces values by using total net as defined the sum of weighted inputs and the bias values.. All of these components are interconnected with one another. It takes same independent variables as inputs and dependent variable as an output with classical regression models. ANN basically learns by observing the data set itself and updates weights to reduce the error between actual dependent values and estimated ones.



**Figure 1.** A sample structure of a multilayers neural network (towardsdatascience.com)

The relationship between input and hidden layer can be expressed in linear form and defined as follows:

$$h_t(x) = g\left(w_0 + \sum_{i=1}^P x_i w_{it}\right) \tag{5}$$

where  $g(.)$  is the activation function,  $w_{it}$  is the weight and  $w_0$  is the bias value between each variable and the corresponding hidden node (t). This  $h_t(x)$  value is simply the output of hidden node t. After

choosing the number of hidden nodes in hidden layer, the outcome value can be similarly defined as linear combination of this nodes as follows (Kuhn and Johnson, 2013):

$$f(x) = \eta_0 + \sum_{t=1}^M \eta_t h_t \quad (6)$$

Here  $f(x)$  corresponds to the estimated outcome values. In aANN model, the parameters are updated to minimize or reduce the sum of the squared residuals. This updating process is carried out by using different learning algorithms such as widely used backpropagation algorithm proposed by Rumelhart et al. (1986). It should be noted that there is no guarantee to reach the global optimum solution (Kuhn and Johnson, 2013).

## ESTIMATION RESULTS

### Data Set, Source and Preprocessing

The main data has been retrieved from a well-known real estate website in January and February 2018. It contains 3114 units and 11 variables which are given with some descriptive statistics in Table 2. The data set is belongs to four central districts including Seyhan, Çukurova, Yüreğir and Sarıçam in Adana. The location of house, the age of building, credit availability, size (square meters), the number of rooms, the number of bathrooms, the floor of house, the number of floors of building, the distance to the city central and the heating system of house are used as variables.

Inclusion of outliers may dramatically affect the results. That's why outlier analysis process is carried out by using some criterias such as studentized residual, leverage values and Cook's distance. Based on this process, 12 units are omitted from the data set. The results of outlier analysis is given in Appendix B.

As well as the effect of outliers, multicollinearity is the another important issue because of referring near-linear dependencies between independent variables. The presence of multicollinearity can produce unstable regression coefficients which have large variance/covariances and values in absolute manner (Montgomery et al., 2012). Variance inflation factor and condition index are used to determine whether there is multicollinearity or not. The cutoff values are taken as 10 for Vif and 1000 for CI. There is no multicollinearity between independent variables according to these criterias. The results are given in Appendix C.

The data set is splitted into train and test data. The ratios between them are 70% and 30%, respectively. The models have been fitted by using the training data and tested via testing data. As performance measures RMSE, R squared and MAE have been calculated and given comparatively. The solutions for hedonic regression analysis has been obtained by using IBM Spss and STATA 14.0. The R software has been used for the results of k-nn regression and artificial neural networks.

The descriptive statistics of the data set are given in Table 1 and Table 2. According to descriptive statistics, the majority of the houses are located in Çukurova district. The most of them are at 0-5 years. Combi boilers is the most preferred heating system. The banking credit is available for most houses. There is at a certain amount of dues in almost all houses. The cheapest house price is 65000 (TL) and the maximum price is equal to 1350000 (TL). The mean price is around 282000 (TL)



**Table 1.** Descriptive statistics (qualitative variables)

	Categories	N	Percent	Min Value	Max Value	Mode
Location	Çukurova	1371	44.2	1	4	1
	Seyhan	1261	40.7			
	Sarıçam	395	12.7			
	Yüreğir	75	2.4			
Credit Availability	Yes	2951	95.1	0	1	1
	No	151			4.9	
Age	0-5 Aged	2079	67.0	1	8	1
	6-10 Aged	263	8.5			
	11-15 Aged	377	12.2			
	16-20 Aged	306	9.9			
	21-25 Aged	57	1.8			
	26-30 Aged	14	0.5			
	31-35 Aged	3	0.1			
	36-40 Aged	3	0.1			
Heating System	Combi Boilers	1801	58.1	1	5	1
	Air Conditioning	974	31.4			
	Central Heating	302	9.7			
	Stove	19	0.6			
	Floor Heating	6	0.2			
Dues	Yes	3021	97.4	0	1	1
	No	81	2.6			
	Total	3102	100.0			

**Table 2.** Descriptive statistics (quantitative variables)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Size	3102	30	400	160.99	45.730
# Rooms	3102	1	8	3.81	0.797
# Bathrooms	3102	0	6	1.56	0.521
# Floors of Building	3102	1	20	10.65	3.474
Floor of House	3102	1	20	5.27	3.623
Distance (km)	3102	1.7	27.2	10.855	3.6785
Price (TL)	3102	65000	1350000	282412.93	125684.893
Ln Price (TL)	3102	11.08214	14.11562	12.55113	11.74153

### Hedonic Regression Results

In this section, hedonic regression results are given in Table 3. As mentioned in preprocessing step, there no multicollinearity between independent variables. Another assumption named heteroscedasticity is present when it is checked by Breusch-Pagan test. Robust standart errors for coefficients have been used as a solution to this violation. By doing so, t statistics and p values have been calculated based on these standart errors. The majority of coefficients are significant.

**Table 3.** Hedonic regression model estimates

Variables	Coef.	Std. Error	t value	P> t	%95 CI		Exp(Coef)
Çukurova	0.3701	0.0147	25.1100	0.0000	0.3412	0.3990	1.4479
Seyhan	0.2678	0.0152	17.6700	0.0000	0.2381	0.2976	1.3071
Yüreğir	-0.0122	0.0386	-0.3200	0.7510	-0.0879	0.0634	0.9878
Size	0.0045	0.0003	16.7500	0.0000	0.0040	0.0050	1.0045
# Rooms	0.0893	0.0146	6.0900	0.0000	0.0605	0.1180	1.0934
Credit	-0.0037	0.0206	-0.1800	0.8560	-0.0442	0.0367	0.9963
# Bathrooms	0.0857	0.0123	7.0000	0.0000	0.0617	0.1097	1.0895
# Floors in Building	0.0062	0.0014	4.4000	0.0000	0.0034	0.0090	1.0062
Floor	0.0051	0.0012	4.1800	0.0000	0.0027	0.0075	1.0051
Age (6-10)	-0.0441	0.0167	-2.6500	0.0080	-0.0768	-0.0114	0.9568
Age (11-15)	-0.0575	0.0147	-3.9100	0.0000	-0.0864	-0.0287	0.9441
Age (16-20)	-0.1033	0.0172	-6.0000	0.0000	-0.1370	-0.0695	0.9019
Age (21-25)	-0.1163	0.0306	-3.8000	0.0000	-0.1762	-0.0563	0.8902
Age (26-30)	-0.0739	0.0585	-1.2600	0.2060	-0.1886	0.0407	0.9287
Age (31-35)	0.1065	0.0486	2.1900	0.0290	0.0111	0.2019	1.1124
Age (36-40)	0.4294	0.0275	15.6400	0.0000	0.3756	0.4833	1.5364
Heating (Combi Boilers)	0.1060	0.0393	2.7000	0.0070	0.0290	0.1830	1.1118
Heating (Central)	0.1015	0.0410	2.4800	0.0130	0.0212	0.1818	1.1068
Heating (Air Conditioning)	0.0503	0.0392	1.2900	0.1990	-0.0265	0.1271	1.0516
Heating (Floor)	0.3629	0.1476	2.4600	0.0140	0.0735	0.6523	1.4375
Dues	0.0057	0.0241	0.2400	0.8130	-0.0416	0.0531	1.0057
Distance	-0.0172	0.0018	-9.4300	0.0000	-0.0208	-0.0136	0.9830
Constant	11.0262	0.0639	172.6300	0.0000	10.9009	11.1514	
F (p value)	342.68	(0.000)					
<b>Breusch - Pagan Test</b>	ChiSquare=20.02		p<0.001				
<b>Comparison of Training &amp; Testing Results</b>							
	Splitting Ratio	N	RMSE	R Squared	MAE		
Training Results	70%	2171	0.1762	0.8064	0.1363		
Testing Results	30%	931	0.1780	0.7988	0.1389		

In the last column of hedonic regression results, percent effects (i.e exp(coef)) for each variable are presented. The signs of coefficients and effects are consistent with the literature and expectations. According to these values, the house prices in Çukurova district are higher than Sarıçam (base category) by %44.8. When compared to the prices in Sarıçam, Yüreğir has lower values by %1.2. The results also point out that size, number of rooms, number of bathrooms, number of floors in building have significant and positive effects on the prices.

Age is also an important variable. House prices between 6-10 years are lower than the ones 0-5 years (the based category for age). When age gets older, this difference rises up to 31-35 years. After this age, prices significantly and distinctly increases. This situation may depend on the places where these houses located. Environmental and physical conditions may be developed because of being located for a long time. The price of houses having combi boiler as heating system are higher than stove (the base category) by approximately %11. Credit availability, dues, having air conditioning, being 26-30 years and being in Yüreğir district don't have significant effect on the prices. Observed and predicted house prices for hedonic regression are given in Figure 2.

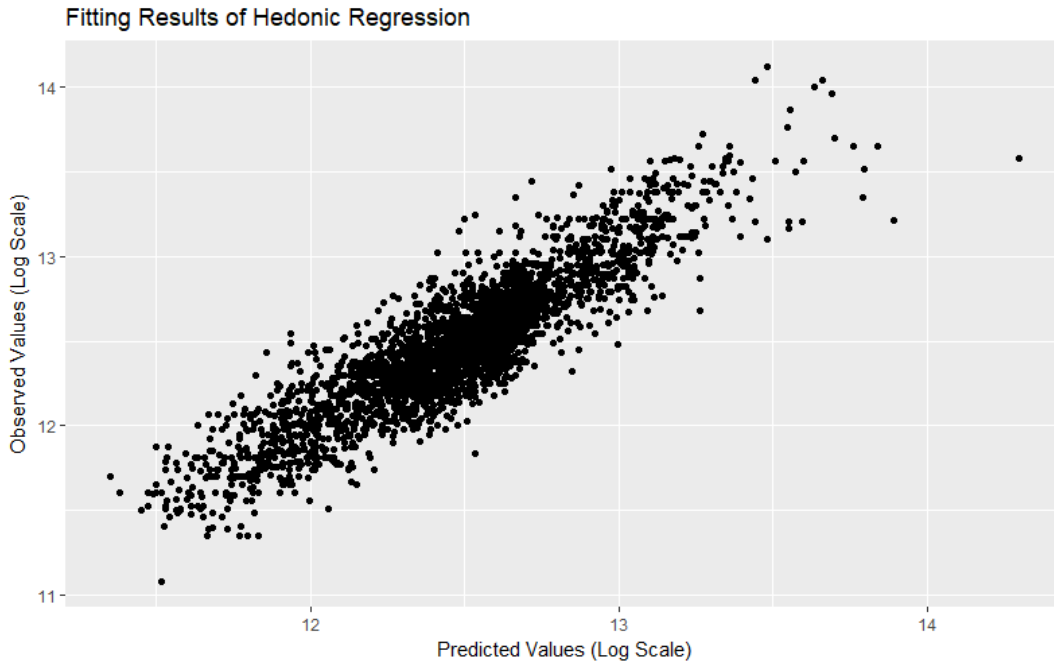


Figure 2. Observed and predicted house prices by hedonic regression

### Nearest Neighbors Regression Results

Choosing an optimal  $k$  value plays key role on knn regression results. As mentioned before this value should be determined carefully by using some resampling techniques such as cross-validation. In this section, RMSE, Rsquared and MAE performance measures for various  $k$  values by using 10 fold - cross validation have been calculated and given in Appendix A. All the results have been carried out by using Gower distance because of having mixed types of measures in our data set. The results can be seen as visually in Figure 3

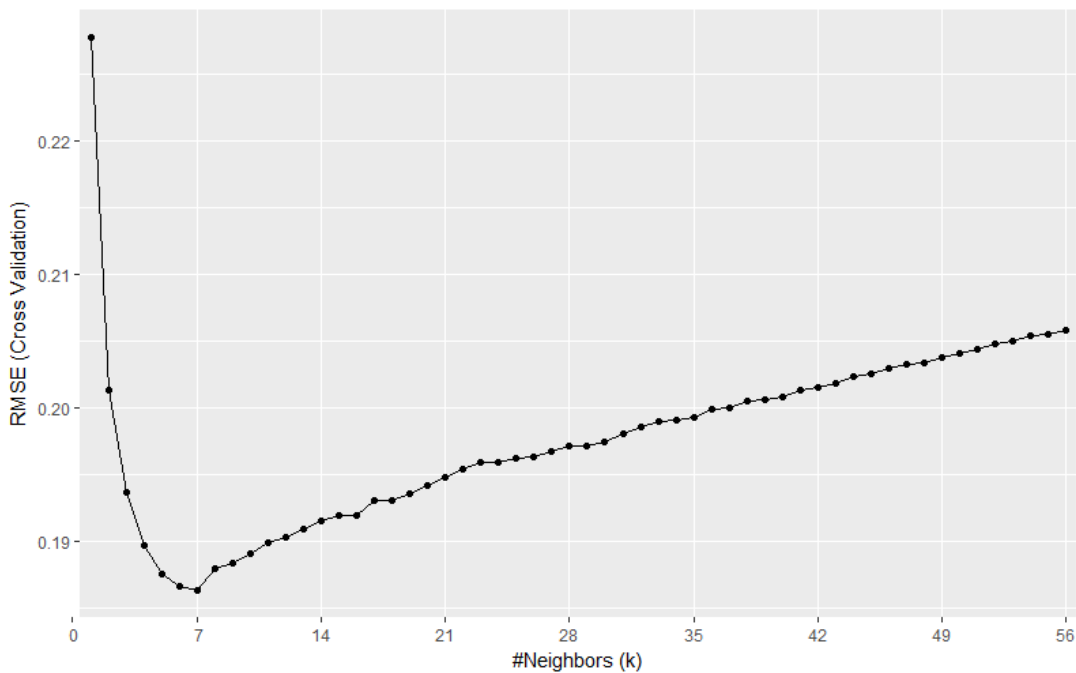


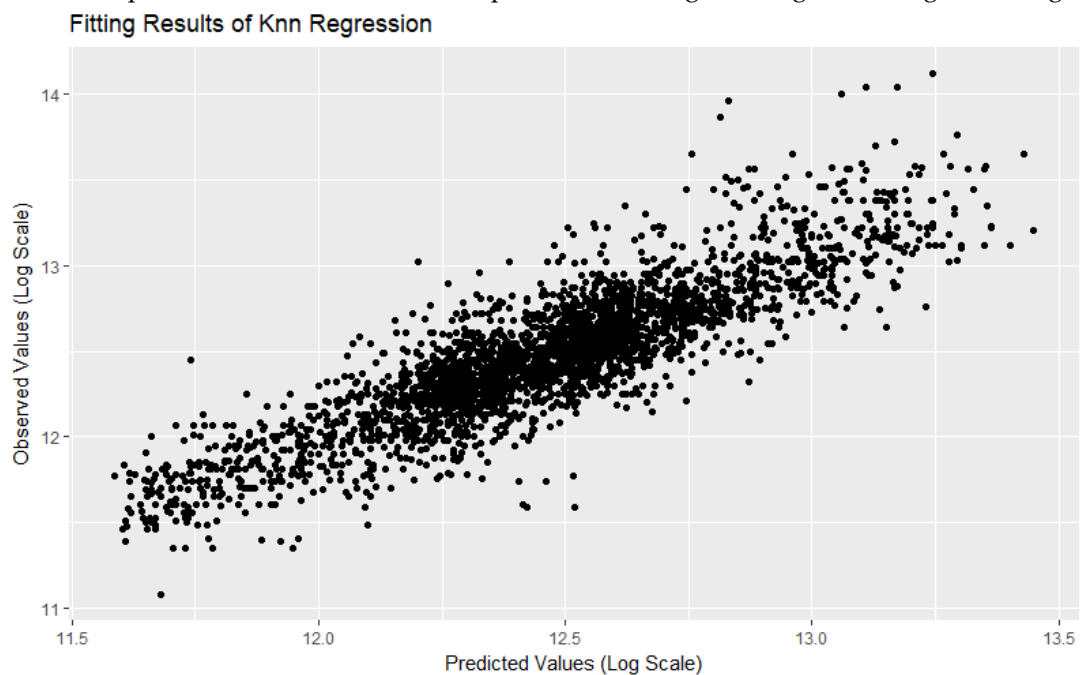
Figure 3. CV RMSE values for a range of  $k$  values

Both observing Figure 3 and Appendix A, it can be said that as the k value increases, RMSE and MAE values decreases but Rsquared values increases until a certain value. After this value, the change reverses. Herefrom the optimal k value is seen as 7 which is the value providing minimum RMSE, highest Rsquared and reasonable MAE. By using this value, model has been fitted on the whole training data set. The results for training and testing data are given in Table 4.

**Table 4.** Nearest neighbors regression results

	Splitting Ratio	N	RMSE	Rsquared	MAE
Training Results	70%	217	0.18481	0.78853	0.13963
Testing Results	30%	931	0.18984	0.77803	0.14505

The results for predicted and observed house prices after fitting k-nn regression is given in Figure 4.



**Figure 4.** Observed and predicted house prices by k-nn regression

### Artificial Neural Networks Results

In this study, the number of hidden layers and nodes in each layers are the parameters which must be tuned. Cross validation process has been carried out to determine them effectively. One or two hidden layers options have been considered. As the number of hidden layers nodes {5,10,15,20} values have been tried. Many activation functions have been proposed in the literature. Sigmoid activation function has been most commonly used one and also preferred in this study. RMSE, Rsquared and MAE performance measures have been calculated for every possible combination including one or two hidden layers and four possible number of hidden layer nodes depending on training and testing data sets. According to these results, the best combination has been found when we used sigmoid activation function, five and fifteen hiddens nodes for hidden layer 1 and hidden layer 2, respectively. The minimum testing RMSE value has been calculated for this combination. The results for each combination are given in Table 5. By using these options, the model has been fitted on whole training data set. Testing results have been obtained by using testing data set via this model.

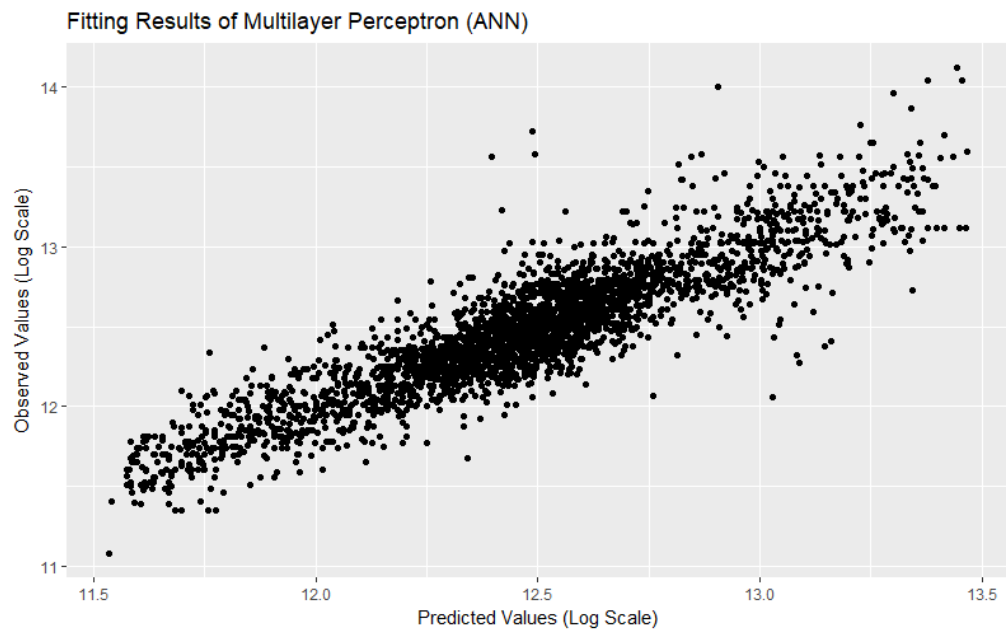
Table 5. Artificial neural networks results

#Layers	Act.Function	#Hidden Nodes 1	#Hidden Nodes 2	RMSE	Rsquared	MAE
1	Sigmoid	5		0.254283	0.762103	0.207905
		10		0.235332	0.758638	0.188047
		15	-	0.232139	0.757982	0.186109
		20		0.215573	0.761292	0.171026
2	Sigmoid		5	0.196659	0.784948	0.156190
			10	0.215688	0.785180	0.172616
		5	15	<b>0.195299</b>	<b>0.782697</b>	<b>0.153311</b>
			20	0.206907	0.783527	0.164116
			5	0.241897	0.784820	0.197007
		10	10	0.225681	0.784803	0.180897
			15	0.213336	0.785546	0.171061
			20	0.212875	0.784985	0.171447
			5	0.237643	0.783289	0.196003
		15	10	0.226412	0.783333	0.182855
			15	0.233290	0.784455	0.189777
			20	0.231892	0.783379	0.187662
			5	0.219654	0.782562	0.174607
			10	0.209158	0.782123	0.166701
			15	0.248899	0.783493	0.205977
			20	0.207333	0.784792	0.163965

Table 6. Multilayer perceptron results

	Splitting Ratio	N	RMSE	Rsquared	MAE
Training Results	70%	2171	0.16605	0.82899	0.13065
Testing Results	30%	931	0.16806	0.83055	0.13037

The results for predicted and observed house prices after fitting multilayer perceptron with two hidden layers and sigmoid activation function are given in Figure 5.



**Figure 5.** Observed and predicted house prices by multilayer perceptron

### Comparison of Three Methods

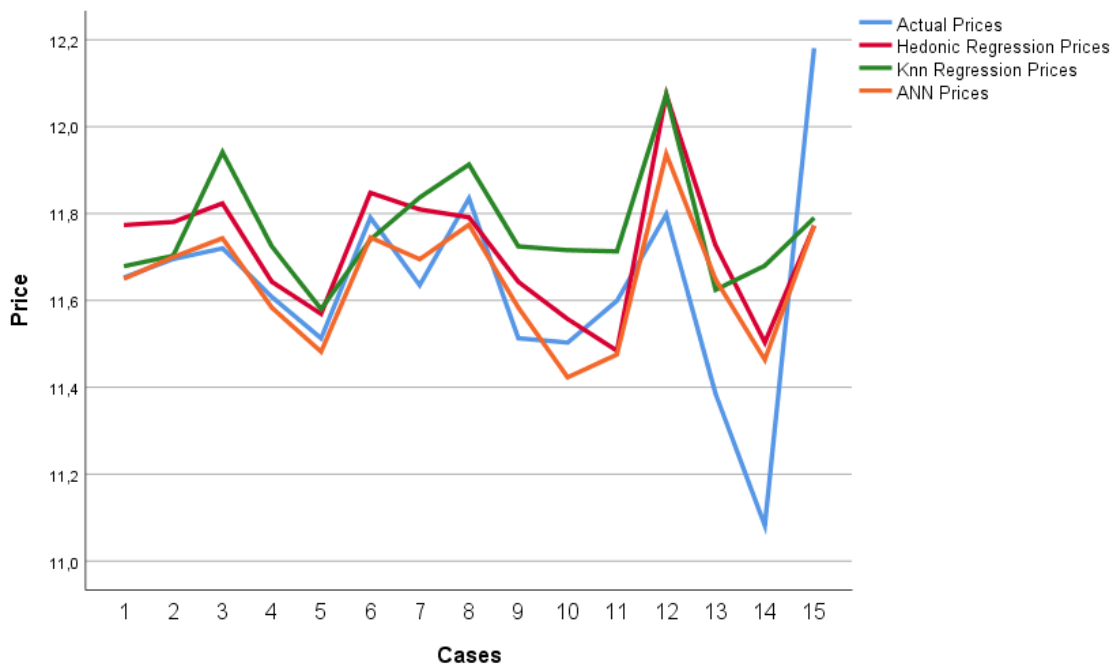
An overall examination of the results is given in Table 7. According to these results, ANN is the best method to predict house prices. It has both the lowest RMSE/MAE values and the highest R squared value. This result suggests that ANN is better tool than Hedonic regression. However, hedonic regression outperforms knn regression in terms of all performance measures. Additionally, the comparison for prices based on a sample of cases is given in Table 8 and a visual representation of these prices is given in Figure 6.

**Table 7.** Comparison of test performance of hedonic regression, k-nn regression and ANN

Performance Measures	Hedonic Regression	k-nn Regression	A NN
Root Mean Squared Error (RMSE)	0.1780	0.1899	0.1681
R Squared	0.7988	0.7781	0.8306
Mean Absolute Error (MAE)	0.1389	0.1451	0.1304

**Table 8. Predicted house prices obtained by hedonic regression, k-nn regression and ANN**

Cases	Actual Prices	Hedonic Regression Prices	k-nn Regression Prices	ANN Prices
1	11.65269	11.77351	11.67857	11.64968
2	11.69525	11.78051	11.70286	11.69985
3	11.71994	11.82337	11.94143	11.74309
4	11.60824	11.64289	11.72429	11.58354
5	11.51293	11.56899	11.58000	11.48188
6	11.79056	11.84780	11.74000	11.74497
7	11.63514	11.80945	11.83714	11.69479
8	11.83501	11.79129	11.91286	11.77420
9	11.51293	11.64289	11.72429	11.58354
10	11.50288	11.55723	11.71571	11.42297
11	11.59910	11.48429	11.71286	11.47543
12	11.79810	12.07341	12.07429	11.93719
13	11.38509	11.72688	11.62429	11.64855
14	11.08214	11.50328	11.68000	11.46345
15	12.18075	11.77162	11.79000	11.77241



**Figure 6. Actual and predicted prices by hedonic regression, k-nn regression and ANN**

**CONCLUSIONS**

In this study, the factors affecting prices of houses which are located in Adana has been investigated by using hedonic regression, nearest neighbors regression and artificial neural networks methods. According to the hedonic regression results, district, age, size, number of rooms, number of bathrooms, type of heating system, floor, number of floors in building, distance to the city center are found as significant variables on the house prices. Because of being flexible and nonlinear alternatives, k nearest neighbourhood and artificial neural networks approaches have been used and compared with hedonic regression. It is shown that the selection of parameters via cross validation in knn regression and ANN is effective on the performance of these methods. Consequently, ANN has been found as the best method

in terms of testing performance on predicting house prices. It can be used as a powerful alternative to ordinary hedonic regression method.

## ACKNOWLEDGMENT

The author is thankful to the associate editor and anonymous referees for their helpful comments and suggestions during the earlier draft of this paper.

## REFERENCES

- Abidoye, R. B., & Chan, A. P., 2017, "Modelling Property Values in Nigeria Using Artificial Neural Network", *Journal of Property Research*, 34(1), 36-53.
- Bin, O., 2004, "A Prediction Comparison of Housing Sales Prices by Parametric versus Semi-Parametric Regressions", *Journal of Housing Economics*, 13(1), 68-84.
- Bishop C., *Neural Networks for Pattern Recognition*, Oxford University Press, Oxford, 1995.
- Borst, R. A., 1991, "Artificial Neural Networks: The Next Modelling/Calibration Technology for the Assessment Community", *Property Tax Journal*, 10(1), 69-94.
- Box, G., & Cox, D., 1964, "An Analysis of Transformations", *Journal of the Royal Statistical Society B*, 26, 211-252.
- Cechin, A., Souto, A. & Gonzalez, M.A., "Real Estate Value at Porto Alegre City Using ANN", *Proceedings 6th Brazilian Symposium On Neural Networks*, November, 2000.
- Demuth, H. B., Beale, M. H., De Jess, O., & Hagan, M. T., *Neural Network Design*, Martin Hagan, 2014.
- Frew, J., & G. D. Jud., 2003, "Estimating The Value of Apartment Buildings", *The J. Real Estate Res.*, 25: 77 - 86.
- Goodman, A. C., 1998, "Andrew Court and the Invention of Hedonic Price Analysis", *Journal of Urban Economics*, 44, 291-298.
- Halvorsen, R., & Palmquist, R., 1980, "The Interpretation of Dummy Variables in Semilogarithmic Regressions", *American Economic Review*, 70(June), 474-475.
- Iacoviello, M., 2000, "House Prices and the Macroeconomy in Europe: Results from a Structural Var Analysis", *Working Paper Series 0018*, European Central Bank.
- IBM Corp. Released, 2017, *IBM SPSS Statistics for Windows*, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R., 2013, *An Introduction to Statistical Learning (Vol. 112)*. New York: Springer.
- Janssen, C., Söderberg, B., & Zhou, J., 2001, "Robust Estimation of Hedonic Models of Price and Income for Investment Property", *Journal of Property Investment & Finance*, 19(4), 342-360.
- Khalafallah, A., 2008, "Neural Network Based Model for Predicting Housing Market Performance", *Tsinghua Science & Technology*, Vol. 13, Pp. 325-328.
- Kontrimas, V., & Verikas, A., 2011, "The Mass Appraisal of the Real Estate by Computational Intelligence", *Applied Soft Computing*, 11(1), 443-448.
- Kuhn, M., & Johnson, K., *Applied Predictive Modeling (Vol. 26)*, New York: Springer, 2013.
- Lancaster, K. J., 1966, "A new approach to consumer theory", *J. Political Economy*, 74:132- 157.
- Limsombunchai, V. & Samarasinghe, S., 2004, "House Price Prediction Using Artificial Neural Network: A Comparative Study with Hedonic Price Model", *Applied Economics Journal*, Vol. 9-2, Pp. 65-74.
- Liu B., *Web Data Mining*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2017.
- Miles, D., 1992, "Housing Markets, Consumption and Financial Liberalisation in the Major Economies", *European Economic Review*, 36, 5, 1093- 1127.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G., *Introduction to Linear Regression Analysis (Vol. 821)*, John Wiley & Sons, 2012.



- Mousa, A. A., & Saadeh, M., 2010, "Automatic Valuation of Jordanian Estates Using A Genetically-Optimised Artificial Neural Network Approach", *WSEAS Transactions on Systems*, 9, 905-916.
- Nguyen, N. & Cripps, A., 2001, "Predicting Housing Value: A Comparison of Multiple Regression Analysis and Artificial Neural Networks", *The Journal of Real Estate Research*, Vol 22 (3): 313-336.
- Pagourtzi, E., Assimakopoulos, V., Hatzichristos, T., & French, N., 2003, "Real Estate Appraisal: A Review of Valuation Methods", *Journal of Property Investment & Finance*, 21(4), 383-401.
- Quigley, J. M., 1992, *Housing Markets in J. Eatwell, M. Milgate and P. Newman (eds.)*, The New Palgrave: A Dictionary of Economics, 3-20, London, Macmillan Press.
- R Core Team, 2018, *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rosen, S., 1974, "Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition", *Journal of Political Economy*, 82, 34-55.
- Rossini, P.A., 1997, "Artificial Neural Networks versus Multiple Regression in the Valuation of Residential Property", *Australian Land Economics Review*, November Vol 3(1).
- Rumelhart D., Hinton G., & Williams R., *Learning Internal Representations by Error Propagation*. In *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, The MIT Press, 1986.
- Sampathkumar, V., Santhi, M. H., & Vanjinathan, J., 2015, "Forecasting the Land Price Using Statistical and Neural Network Software", *Procedia Computer Science*, 57, 112-121.
- Selim, H., 2009, "Determinants of House Prices in Turkey: Hedonic Regression versus Artificial Neural Network". *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2843-2852.
- StataCorp., 2015, *Stata Statistical Software: Release 14*, College Station, TX: StataCorp LP.
- Tay, D. P., & Ho, D. K., 1992, "Artificial Intelligence and the Mass Appraisal of Residential Apartments", *Journal of Property Valuation and Investment*, 10(2), 525-540.
- Worzala, E., Lenk, M., & Silva, A., 1995, "An Exploration of Neural Networks and Its Application to Real Estate Valuation", *Journal of Real Estate Research*, 10(2), 185-201.
- Zurada, J. M., Levitan, A. S. & Guan, J., 2006, "Non-Conventional Approaches to Property Value Assessment", *Journal of Applied Business Research*, Vol. 22(3).

APPENDIX

Appendix A. Performance measures for different k values

k	RMSE	Rsquared	MAE	k	RMSE	Rsquared	MAE
1	0.22796	0.69301	0.16700	29	0.19714	0.77476	0.14949
2	0.20140	0.74752	0.15054	30	0.19740	0.77483	0.14977
3	0.19353	0.76548	0.14527	31	0.19808	0.77364	0.15035
4	0.18959	0.77448	0.14218	32	0.19850	0.77322	0.15061
5	0.18750	0.78018	0.14109	33	0.19895	0.77303	0.15091
6	0.18659	0.78284	0.14067	34	0.19907	0.77336	0.15100
7	<b>0.18629</b>	<b>0.78420</b>	<b>0.14117</b>	35	0.19924	0.77362	0.15092
8	0.18789	0.78128	0.14263	36	0.19986	0.77254	0.15130
9	0.18833	0.78111	0.14301	37	0.19999	0.77273	0.15143
10	0.18901	0.78026	0.14328	38	0.20045	0.77213	0.15179
11	0.18983	0.77895	0.14364	39	0.20056	0.77253	0.15190
12	0.19028	0.77891	0.14382	40	0.20082	0.77244	0.15222
13	0.19081	0.77845	0.14396	41	0.20132	0.77164	0.15248
14	0.19148	0.77747	0.14419	42	0.20153	0.77143	0.15256
15	0.19188	0.77769	0.14423	43	0.20182	0.77130	0.15283
16	0.19195	0.77843	0.14431	44	0.20228	0.77050	0.15300
17	0.19300	0.77655	0.14506	45	0.20252	0.77039	0.15316
18	0.19307	0.77742	0.14555	46	0.20298	0.76974	0.15348
19	0.19357	0.77694	0.14618	47	0.20323	0.76954	0.15380
20	0.19413	0.77649	0.14652	48	0.20339	0.76957	0.15409
21	0.19472	0.77537	0.14708	49	0.20372	0.76933	0.15429
22	0.19534	0.77468	0.14786	50	0.20406	0.76891	0.15464
23	0.19591	0.77395	0.14826	51	0.20433	0.76880	0.15487
24	0.19593	0.77467	0.14833	52	0.20475	0.76817	0.15521
25	0.19613	0.77455	0.14864	53	0.20502	0.76793	0.15543
26	0.19633	0.77478	0.14878	54	0.20537	0.76729	0.15566
27	0.19665	0.77469	0.14893	55	0.20551	0.76720	0.15580
28	0.19708	0.77429	0.14932	56	0.20580	0.76693	0.15610

**Appendix B. The omitted samples and corresponding examination measures**

<b>Id</b>	<b>Rstudent</b>	<b>Unadjusted p Value</b>	<b>p (Bonferroni)</b>	<b>Leverage Values</b>	<b>Cook Distance</b>
1	-7,3576	<0.0001	<0.0001	0,152036	0,414871
2	-4,6692	<0.0001	0.00981	0,103549	0,108756
134	-4,4299	<0.0001	0.03031	0,105052	0,099552
358	-4,5360	<0.0001	0.01854	0,062715	0,059481
381	-5,5923	<0.0001	0.00007	0,060364	0,086503
1006	4,3232	<0.0001	0.04926	0,008930	0,007280
1007	7,1096	<0.0001	0.00000	0,022687	0,050210
1137	4,3204	<0.0001	0.04990	0,004876	0,003954
1137	4,3235	<0.0001	0.04918	0,003533	0,002865
1142	4,6071	<0.0001	0.01323	0,009828	0,009101
1548	-4,4388	<0.0001	0.02910	0,010604	0,009126
2299	4,7106	<0.0001	0.00803	0,005806	0,005596

**Threshold Values**Cook Distance:  $4/(n - k - 1) = 0.00129$ Leverage:  $3p/n = 0.022158$ Studentized Residual: The range of  $\pm 3$  Standart Deviation =  $[-3.00481, 3.00492]$ **Overall Values:** $\bar{x}_{\text{Studentized}} = 0.000057294$  $\bar{d}_{\text{Cook}} = 0.000453567$  $\bar{x}_{\text{Leverage}} = 0.00741457$ **Appendix C. The results of multicollinearity**

<b>Variable</b>	<b>VIF</b>	<b>Dimension</b>	<b>Eigenvalues</b>	<b>Condition Index</b>
Location	1.333	1	10.540	1.000
Size	5.307	2	0.430	4.949
# of rooms	4.881	3	0.316	5.774
Credit avaliability	1.008	4	0.210	7.076
# of bathrooms	1.500	5	0.172	7.822
# of floors in building	1.280	6	0.110	9.778
The floor of house	1.205	7	0.073	12.057
The age of building	1.605	8	0.057	13.543
Heating system	1.143	9	0.046	15.122
Dues	1.014	10	0.032	18.018
Distance	1.097	11	0.007	38.314

## A NOVEL APPROACH BASED ON ELEPHANT HERDING OPTIMIZATION FOR CONSTRAINED OPTIMIZATION PROBLEMS

Hüseyin HAKLI

*Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, KONYA*  
<sup>1</sup>[hhakli@erbakan.edu.tr](mailto:hhakli@erbakan.edu.tr)

(Geliş/Received: 07.08.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 22.01.2019)

**ABSTRACT:** Many real-world problems can be formulated as an optimization problem and they have some constraints generally. To overcome these constraints, bio-inspired algorithms are adapted to constrained optimization using constraint handling methods and some modifications. In this study, a new approach is developed to solve constrained optimization problems with elephant herding optimization algorithm which is a newly-emerging optimization technique. Besides the basic EHO, two EHO variants (EHO-NoB and GL-EHO) are adapted to constrained optimization with this approach. The well-known thirteen constrained benchmark functions are used to analysis the performances of algorithms. Experimental results show that the GL-EHO has a better performance than the basic EHO and other algorithms. In addition, the results of GL-EHO are comparable level with the result of another EHO variant in the literature.

**Key Words:** *Constrained optimization, Deb's rules, Elephant herding optimization*

### Kısıtlı Optimizasyon Problemleri için Fil Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım

**ÖZ:** Birçok gerçek dünya problemi bir optimizasyon problemi olarak formüle edilebilir ve genel olarak bazı kısıtlamalara sahiptirler. Bu kısıtlamaların üstesinden gelmek için, kısıtlama yöntemleri ve bazı modifikasyonlar kullanarak doğa esinli algoritmalar kısıtlı optimizasyona uyarlanmıştır. Bu çalışmada, yeni ortaya çıkan bir optimizasyon tekniği olan fil sürüsü optimizasyonu algoritması ile kısıtlı optimizasyon problemlerini çözmek için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Temel EHO'nun yanı sıra, iki EHO varyantı (EHO-NoB ve GL-EHO) bu yaklaşımla kısıtlı optimizasyona uyarlanmıştır. İyi bilinen on üç kısıtlı test fonksiyonu, algoritmaların performanslarını analiz etmek için kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, GL-EHO'nun temel EHO ve diğer algoritmalarından daha iyi bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, GL-EHO sonuçları literatürdeki başka bir EHO varyantının sonucuyla karşılaştırılabilir düzeydedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Deb kuralları, Fil sürüsü optimizasyonu, Kısıtlı optimizasyon*

## INTRODUCTION

Due the fact that many real-world problems can be formulated as an optimization problem, the popularity of optimization have increased day by day (Ivana Strumberger et al., 2018). Different types of optimization such as combinatorial (Hakli and Uguz, 2017) and continuous (Farnad et al., 2018; Kiran, 2015), single (Asafuddoula et al., 2014) and multi-objective (Jiao et al., 2017; Luo et al., 2018), unconstrained (Sharma et al., 2017) and constrained are applied in accordance with characteristic of problems.

To solve optimization problems within the reasonable time, many bio-inspired algorithms have been proposed in last two decade (Hakli, 2018). These algorithms are directly implemented for unconstrained

optimization problems using objective function. When applying to constrained optimization, constraint handling methods are required for these algorithms to control and consider the violations. In the literature, various constraint handling methods are used to overcome the constraints, and many bio-inspired algorithms are adapted to solve constrained optimization problem. Babalik et al. proposed a modification of tree-seed algorithm for constrained optimization, and they used Deb's rules as constraint handling method (Babalik et al., 2018). To balance constraints and objective function, teaching-learning based optimization was improved for the constrained optimization (B.-C. Wang et al., 2018). Xu et al. proposed a new constrained optimization algorithm combined an adaptive trial vector generation strategy based differential evolution (DE) algorithm to solve constrained problems (Xu et al., 2018). In addition, a cluster-replacement-based feasibility rule was developed to alleviate the greediness of the feasibility rule. To effectively handle constraints, genetic algorithm was hybridized with the rough set theory and the penalty function was used as constraint handling (Lin, 2013). Moreover, many bio-inspired algorithms were applied to constrained optimization problem such as bacterial-inspired algorithm (Niu et al., 2015), elephant herding optimization (Ivana Strumberger et al., 2018), particle swarm optimization (Garg, 2016), grey wolf optimization algorithm (Kohli and Arora, 2017) etc. For the detailed explanation on constraints and other constraint handling methods, please see (Mezura-Montes and Coello, 2011).

Elephant herding optimization (EHO) algorithm, one of the newly-proposed method, simulates the social behavior of the elephants (G. G. Wang et al., 2015). Although the literature about the EHO algorithm is not so wide due to fact that it is a newly proposed algorithm, it was used to solve various problems such as multi-level image thresholding (Tuba et al., 2017), unmanned aerial vehicle path planning (Alihodzic et al., 2017), static drone placement (I. Strumberger et al., 2017), load frequency control (Sambariya and Fagna, 2017). In this study, a new approach which based EHO algorithm is proposed for constrained optimization. In addition, the new approach is implemented to not only basic EHO algorithm but also two EHO variants. One of these variants contains a simple modification on the basic EHO, other one was proposed in my previous study (Hakli, 2018). Three experiments are performed using thirteen constrained benchmark problems in this study. Firstly, the performance of three variants of EHO is evaluated to determine the best one. Secondly, the best of EHO variants is compared with the other algorithms. Third experiment contains a comparison between the best EHO variant in this study and another variant based on EHO in the literature.

The remainder of this paper is divided as follows. The following part contains the basic explanation of constrained optimization. The next part describes the adaptation of EHO variants to constrained optimization using Deb's rule. Then, experimental results are reported and evaluated. Finally the paper is concluded in the last part.

## CONSTRAINED OPTIMIZATION

There are some constraints in many of optimization problems and constrained optimization can be defined as follows (Babalik et al., 2018):

$$\begin{aligned}
 & \textit{optimize} \quad f(x) \\
 & \textit{subject to} \\
 & g_i(x) \leq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, q \\
 & h_j(x) = 0 \quad j = 1, 2, 3, \dots, p
 \end{aligned} \tag{1}$$

where  $f(x)$  is objective function of problem,  $g(x)$  represents inequality constraint and  $h(x)$  is equality constraint.  $q$  and  $p$  are respectively number of inequality constrains and equality constraints. Equality constraints shrink feasible search space, so this is getting difficult to find the optimal solutions for

optimization techniques. To overcome this issue, equality constraints can be converted to inequality constraints (Ivana Strumberger et al., 2018):

$$|h_j(x)| \leq \varepsilon \quad j = 1, 2, 3, \dots, p \quad (2)$$

$\varepsilon$  represents small violation tolerance. In the constrained optimization, validate of the found solution depends on the violation of constraints (Babalik et al., 2018). Therefore, violation of constraints is important as much as fitness value obtained from objective function.

### ADAPTATION OF EHO VARIANTS FOR CONSTRAINED OPTIMIZATION

In the basic EHO algorithm, an elephant in the population represents a candidate solution and the whole population is divided the clans. The best elephant in the clan is determining as a matriarch. The basic EHO contains two main process : clan updating operator and separating operator. The new positions of elephants are updated by Eq. (3) except the matriarch in the clan. Due to no position update using Eq.(3) for the matriarch, Eq.(4) is used the updating new position of matriarch.

$$X_{new,ci}^j = X_{ci}^j + \alpha \times (X_{best,ci} - X_{ci}^j) \times r \quad (3)$$

$$X_{new,ci}^j = \beta \times X_{center,ci} \quad (4)$$

where  $X_{new,ci}^j$  is the new position of  $X_{ci}^j$ .  $X_{ci}^j$  represents the position of elephant  $j$  in clan  $ci$ ,  $X_{best,ci}$  is the position of the matriarch in clan  $ci$  for Eq.(3).  $\alpha$  is a scale factor and  $r$  is a random number in the range [0,1]. In the Eq. (4),  $X_{center,ci}$  is mean position of clan  $ci$  and  $\beta$  is a factor in the range [0,1]. When the male elephants reach the puberty, they will leave their clans and their position is randomly determined in the search space with Eq.(5).

$$X_{worst,ci} = X_{min} + (X_{max} - X_{min} + 1) \times rand \quad (5)$$

where  $X_{worst,ci}$  represents the worst elephant in the clan  $ci$ .  $X_{min}$  and  $X_{max}$  are minimum and maximum bound in the search space.

The pseudo code of the basic EHO to solve the constrained optimization problem is given in Figure 1. By protecting the general structure of basic EHO, the adaptation of EHO algorithm is implemented with Deb's rule to constrained optimization. Due to ease of implementation and an effective mechanism for the constrained optimization, the Deb's rules are used as a constraint handling method in this study. In the Deb's rule, there are rules on the selection between two solutions (Babalik et al., 2018; Deb, 2000):

1. When preferring between feasible and infeasible solution, feasible solution is directly selected.
2. If two solutions are feasible, better solution based in accordance with fitness value is selected.
3. If two solutions are infeasible, the solution with less violation is selected.

When the whole population is sorting, not only fitness values but also violations are considered. To apply the Deb's rule, the population is sorting in accordance with violation values of elephants firstly, and then fitness values. Thus, if the violation values of two elephants are equal or zero, they are ranked according to their fitness value. If not equal, the elephant which has a higher violation value is worse than the elephant which has a lower violation value on the ranking.

```

Initialize the parameters and generate the initial population randomly;
Calculate the fitness value and violation for initial population;
Sort the initial population in accordance with Deb's rule;
while (FEs < max_FEs)
    Keep the fittest elephants (elites)
    for all clans ci
        for all elephant j in the clan ci
            Generate new elephant using Eq.(3)
            if (elephant j is equal to matriarch)
                Generate new elephant using Eq.(4)
            end
        end
    end
    end
    for all clans ci
        Replace the worst elephant in clan ci using Eq.(5)
    end
    Calculate the fitness value and violation for new population;
    Replace the worst with the previous generation's elites;
    Sort the new population in accordance with Deb's rule;
end

```

**Figure 1.** The pseudo code of the basic EHO to solve constrained optimization problem

Due to the taking directly mean position of clan using a random number for updating the new position, Eq. (4) may causes the poor fit solution and inconsistency (Hakli, 2018; Parashar et al., 2017). As a cumulative effect, it undermines the process of finding the global best solution (Meena et al., 2018). Considering the discussion on the disadvantage of the Eq.(4), it is ignored in the new variant and this variant is named EHO-NoB. In my previous study (Hakli, 2018), a new EHO variant was proposed by balancing global and local search (GL-EHO). In the GL-EHO, the new search mechanism which is inspired by particle swarm optimization (PSO) (Kennedy and Eberhart, 1995) and artificial bee colony (ABC) (Karaboga, 2005) is used instead of the Eq.(3) in the basic EHO. These two EHO variants are adapted to constrained optimization as shown in Figure 1 except for the indicated changes.

## EXPERIMENTAL RESULTS

The performance of algorithms is evaluated and investigated on the well-known 13 constrained optimization benchmark problems (Koziel and Michalewicz, 1999; Mezura-Montes and Coello, 2011; Runarsson and Yao, 2000). These problems are detailed in Appendix-A, and also you can find the details of these functions as a supplementary data in the Babalik et al.'s study (Babalik et al., 2018). G02, G03, G08 and G12 are maximization, and the other eights are minimization problems. In the experiments are performed in this study, the population size is 50, the number of elephant in each clan is set 10 and  $\alpha$  is 0.5 for all EHO variants. For the basic EHO,  $\beta$  is determined as 0.1. The acceleration coefficients  $c_1$  and  $c_2$  are equal to each other and they are set 1.5 for the GL-EHO. To provide fair comparison, the maximum number of function evaluations is set 2.4E+5 as in other studies (Babalik et al., 2018; Ivana Strumberger et al., 2018), and the algorithms are run 30 times for each function.

### The Experiments of EHO Variants

The experimental results of EHO variants for constrained optimization problem are given in Table 1. Table 1 contains the mean and standard deviation results of 30 runs for three EHO variants. In addition,

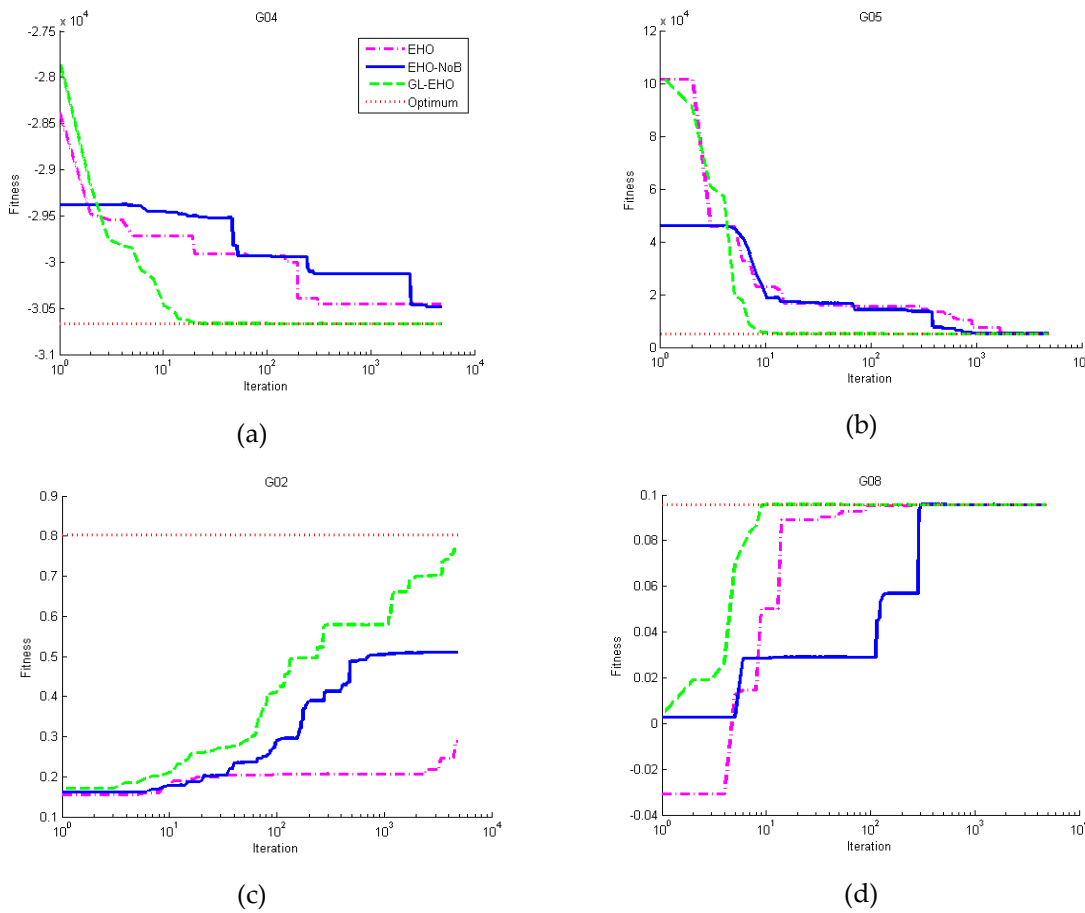
the optimum results of the problems are seen in Table 1. The best mean results obtained by algorithms for the benchmark problems are written as boldface.

**Table 1.** Experimental results of EHO variants for constrained optimization problems

Problem	Min./Max.	Optimal		EHO	EHO-NoB	GL-EHO
G01	Min.	<b>-15,000</b>	Mean	-1,088	-14,500	<b>-15,000</b>
			Std.Dev.	2,285	0,974	<b>0,000</b>
G02	Max.	<b>0,803619</b>	Mean	0,2522	0,4490	<b>0,6405</b>
			Std.Dev.	0,018	0,020	<b>0,069</b>
G03	Max.	<b>1,000</b>	Mean	0,6560	0,4864	<b>0,9026</b>
			Std.Dev.	0,088	0,250	<b>0,360</b>
G04	Min.	<b>-30665,539</b>	Mean	30333,809	-30304,074	<b>-30665,540</b>
			Std.Dev.	56,196	105,429	<b>0,000</b>
G05	Min.	<b>5126,498</b>	Mean	5373,189	<b>5182,527</b>	5502,522
			Std.Dev.	174,591	<b>69,539</b>	406,900
G06	Min.	<b>-6961,814</b>	Mean	-6943,713	-6227,937	<b>-6961,814</b>
			Std.Dev.	9,322	288,753	<b>0,000</b>
G07	Min.	<b>24,306</b>	Mean	446,6258	83,0228	<b>36,9279</b>
			Std.Dev.	204,988	112,134	<b>34,476</b>
G08	Max.	<b>0,095825</b>	Mean	0,095376	<b>0,095825</b>	<b>0,095825</b>
			Std.Dev.	0,000	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
G09	Min.	<b>680,63</b>	Mean	927,874	709,6519	<b>681,7680</b>
			Std.Dev.	60,689	24,345	<b>0,854</b>
G10	Min.	<b>7049,25</b>	Mean	10236,025	<b>8162,372</b>	8374,642
			Std.Dev.	677,597	<b>1240,831</b>	1481,337
G11	Min.	<b>0,75</b>	Mean	<b>0,7400</b>	0,7399	0,7399
			Std.Dev.	<b>0,000</b>	0,000	0,000
G12	Max.	<b>1,000</b>	Mean	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>
			Std.Dev.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
G13	Min.	<b>0,05395</b>	Mean	1,3335	1,0946	<b>0,4043</b>
			Std.Dev.	1,056	0,858	<b>0,213</b>

When examining the Table 1, GL-EHO has better or same performance than the other variants on the eight problems. The basic EHO obtains the better solution than the other algorithm for only G11 function and it generally falls behind the EHO-NoB in terms of solution quality. This situation can be verified the discussion on the Eq.(4) of the basic EHO. The GL-EHO reaches optimal solution for G01, G04, G06, G08 and G12 problems and it outperforms the basic EHO and EHO-NoB in accordance with the experimental results are given in Table 1.





**Figure 2.** The convergence graphs of EHO variants

To analysis the convergence performances of EHO variants, convergence graphs of the methods are given in the Figure 2. In the Figure 2, there are four convergence graphs for the G04 (a) ,G05 (b), G02 (c) and G08 (d) problems. GL-EHO has a superior convergence performance and it reaches the optimum before basic EHO and EHO-NoB as seen in Figure 2. Although the basic EHO converges quickly than the EHO-NoB, it undergoes stagnation (especially G02) and EHO-NoB catches or gets ahead the basic EHO towards the end of the iteration.

**A comparison of GL-EHO and other algorithms**

The GL-EHO is more successful than the basic EHO and EHO-NoB in accordance with the results in the first experiment, so it is selected for comparison with other algorithms to validate its performance. The GL-EHO is compared with ABC, PSO, genetic algorithm (GA) and differential evolution algorithm (DE) and the experimental results of these algorithms given in Table 2 are directly taken from (Babalik et al., 2018).

**Table 2.** A comparison of GL-EHO and other algorithms

Problem	Optimal		ABC	PSO	GA	DE	GL-EHO
G01	<b>-15,0000</b>	Mean	-15,0205	-10,5551	-14,2360	-14,2406	<b>-15,0000</b>
		Difference	0,0205	4,4449	0,7640	0,7594	<b>0,0000</b>
G02	<b>0,8036</b>	Mean	0,4795	0,4043	<b>0,7886</b>	0,6660	0,6405
		Difference	0,3241	0,3993	<b>0,0150</b>	0,1376	0,1631
G03	<b>1,0000</b>	Mean	3,0191	1,1675	<b>0,9760</b>	1,1694	0,9026
		Difference	2,0191	0,1675	<b>-0,0240</b>	0,1694	-0,0974
G04	<b>-30665,5390</b>	Mean	-30610,974	-30661,740	-30590,455	<b>-30665,540</b>	<b>-30665,540</b>
		Difference	54,565	3,799	75,084	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>
G05	<b>5126,4970</b>	Mean	<b>5115,056</b>	5298,284	N/A	5329,197	5502,522
		Difference	<b>11,441</b>	171,787	N/A	202,700	376,025
G06	<b>-6961,8140</b>	Mean	-7579,630	-6961,819	-6872,204	-6765,482	<b>-6961,814</b>
		Difference	617,816	0,005	89,610	196,332	<b>0,002</b>
G07	<b>24,3060</b>	Mean	29,0956	28,7418	34,9800	<b>24,3160</b>	36,9279
		Difference	4,7896	4,4358	10,6740	<b>0,0100</b>	12,6219
G08	<b>0,0958</b>	Mean	6,5347	0,0847	<b>0,0958</b>	<b>0,0958</b>	<b>0,0958</b>
		Difference	6,4389	0,0111	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>
G09	<b>680,6300</b>	Mean	683,8941	680,7815	692,0640	<b>680,6308</b>	681,7680
		Difference	3,2641	0,1515	11,4340	<b>0,0008</b>	1,1380
G10	<b>7049,2500</b>	Mean	7259,028	8128,793	10003,225	<b>7162,592</b>	8374,642
		Difference	209,778	1079,543	2953,975	<b>113,342</b>	1325,392
G11	<b>0,7500</b>	Mean	0,7171	0,7626	<b>0,7500</b>	0,9545	0,7399
		Difference	0,0329	0,0126	<b>0,0000</b>	0,2045	0,0101
G12	<b>1,0000</b>	Mean	1,0001	<b>1,0000</b>	<b>1,0000</b>	<b>1,0000</b>	<b>1,0000</b>
		Difference	0,0001	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>
G13	<b>0,0955</b>	Mean	<b>0,0955</b>	1,4228	N/A	0,9492	0,4043
		Difference	<b>0,0000</b>	1,3273	N/A	0,8537	0,3088
Friedman Rank (Dif.)			3,46	3,12	3,35	2,58	2,50
Corrected Rank			5	3	4	2	1

The absolute difference values calculated by subtracting the mean values of the algorithms from the optimal values of the problems are presented in Table 2 so that the algorithms' results can be evaluated clearly. Friedman rank test are implemented using absolute difference values of algorithms. With respect to the Friedman test, GL-EHO is first rank between the methods. In addition, the DE is second rank and ABC is located in the last rank.

#### A comparison of GL-EHO and other EHO variant on the constrained optimization

Strumberger et.al proposed a hybridized EHO (HEHO) for constrained optimization and they used a different approach for adaptation to constrained optimization (Ivana Strumberger et al., 2018). The limit parameter in the ABC algorithm was added to HEHO and when the generating new solution, the

new solution was compared with the previous one in the HEHO algorithm. If the new solution is better than the current one in accordance with Deb's rule, the previous solution was replaced with the new solution. Thus, the HEHO prevents the losing the better solutions. To investigate the performance of two different approaches based on EHO for constrained optimization, GL-EHO is compared with the HEHO in Table 3.

**Table 3.** A comparison of GL-EHO and HEHO

Problem	Optimal		HEHO	GL-EHO
G01	<b>-15,000</b>	Mean	-14,958	<b>-15,000</b>
		Std.Dev.	0,012	<b>0,000</b>
G02	<b>0,803619</b>	Mean	<b>0,799125</b>	0,6405
		Std.Dev.	<b>0,026</b>	0,069
G03	<b>1,000</b>	Mean	<b>1,000</b>	0,9026
		Std.Dev.	<b>0,000</b>	0,360
G04	<b>-30665,539</b>	Mean	-30499,033	<b>-30665,540</b>
		Std.Dev.	16,302	<b>0,000</b>
G05	<b>5126,498</b>	Mean	<b>5126,505</b>	5502,522
		Std.Dev.	<b>0,041</b>	406,900
G06	<b>-6961,814</b>	Mean	-6957,361	<b>-6961,814</b>
		Std.Dev.	1,005	<b>0,000</b>
G07	<b>24,306</b>	Mean	<b>24,309</b>	36,9279
		Std.Dev.	<b>0,003</b>	34,476
G08	<b>0,095825</b>	Mean	<b>0,095825</b>	<b>0,095825</b>
		Std.Dev.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
G09	<b>680,63</b>	Mean	<b>680,653</b>	681,7680
		Std.Dev.	<b>0,011</b>	0,854
G10	<b>7049,25</b>	Mean	<b>7152,895</b>	8374,642
		Std.Dev.	<b>95,239</b>	1481,337
G11	<b>0,75</b>	Mean	<b>0,751</b>	0,7399
		Std.Dev.	<b>0,001</b>	0,000
G12	<b>1,000</b>	Mean	<b>1,000</b>	<b>1,0000</b>
		Std.Dev.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
G13	<b>0,05395</b>	Mean	<b>0,246</b>	0,4043
		Std.Dev.	<b>0,106</b>	0,213

As seen in the Table 3, while the GL-EHO has a better performance than the HEHO for G01, G04, G06 problems, it has a same performance with HEHO for G08 and G12. HEHO obtains the better result than the GL-EHO for the eight problems. Although the results of GL-EHO are comparable level with the results of HEHO, the HEHO approach is forefront on the constrained optimization by virtue of preventing the worse solutions. On the other hand, while the GL-EHO maintains the basic EHO characteristics except for the change of the search mechanism, the HEHO has more modifications on the basic EHO.

## CONCLUSION

When solving the constrained optimization problems with the bio-inspired algorithms, these algorithms have been adapted to constrained optimization with some modifications using the constraint

handling methods. In this study, a new approach based on EHO algorithm was applied using Deb's rules for constrained optimization. In addition, two EHO variants (EHO-NoB and GL-EHO) are adapted to constrained optimization with this new approach. The performances of these algorithms are evaluated on the well-known thirteen constrained optimization problems. The basic EHO has a weak performance due to the losing the diversification of population quickly. The GL-EHO outperforms the basic EHO and EHO-NoB by virtue of effective search mechanism. Moreover, GL-EHO has a better performance when comparing with other mostly known algorithms. The GL-EHO is compared with another EHO variant (HEHO) on the constrained optimization and its results are comparable level with the results of HEHO. Although, GL-EHO obtained the promising results by protecting the characteristic of basic EHO, it can be improved with some modifications or hybridized with other algorithms as a future work.

## REFERENCES

- Alihodzic, A., Tuba, E., Capor-Hrosik, R., Dolicanin, E., Tuba, M., 2017, "Unmanned Aerial Vehicle Path Planning Problem by Adjusted Elephant Herding Optimization", *2017 25th Telecommunication Forum (Telfor)*, 804-807.
- Asafuddoula, M., Ray, T., Sarker, R., 2014, "An adaptive hybrid differential evolution algorithm for single objective optimization", *Applied Mathematics and Computation*, 231, 601-618. doi:10.1016/j.amc.2014.01.041
- Babalik, A., Cinar, A. C., Kiran, M. S., 2018, "A modification of tree-seed algorithm using Deb's rules for constrained optimization", *Applied Soft Computing*, 63, 289-305. doi:10.1016/j.asoc.2017.10.013
- Deb, K., 2000, "An efficient constraint handling method for genetic algorithms", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 186(2-4), 311-338. doi:10.1016/S0045-7825(99)00389-8
- Farnad, B., Jafarian, A., Baleanu, D., 2018, "A new hybrid algorithm for continuous optimization problem", *Applied Mathematical Modelling*, 55, 652-673. doi:10.1016/j.apm.2017.10.001
- Garg, H., 2016, "A hybrid PSO-GA algorithm for constrained optimization problems", *Applied Mathematics and Computation*, 274, 292-305. doi:10.1016/j.amc.2015.11.001
- Hakli, H., "An improved elephant herding optimization by balancing local and global search for continuous optimization", *15th International Conference on Informatics and Information Technologies, CIIT 2018*, Mavrovo, Macedonia. In Press. 2018.
- Hakli, H., Uguz, H., 2017, "A novel approach for automated land partitioning using genetic algorithm", *Expert Systems with Applications*, 82, 10-18. doi:10.1016/j.eswa.2017.03.067
- Jiao, R. W., Zeng, S. Y., Alkasassbeh, J. S., Li, C. H., 2017, "Dynamic multi-objective evolutionary algorithms for single-objective optimization", *Applied Soft Computing*, 61, 793-805. doi:10.1016/j.asoc.2017.08.030
- Karaboga, D., (2005). *An idea based on honey bee swarm for numerical optimization*. Retrieved from Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Comput. Eng. Dep.:
- Kennedy, J., Eberhart, R., "Particle swarm optimization", *Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, Nagoya, Japan. 39-43. 1995.
- Kiran, M. S., 2015, "TSA: Tree-seed algorithm for continuous optimization", *Expert Systems with Applications*, 42(19), 6686-6698. doi:10.1016/j.eswa.2015.04.055
- Kohli, M., Arora, S., 2017, "Chaotic grey wolf optimization algorithm for constrained optimization problems", *Journal of Computational Design and Engineering*, In Press. doi:10.1016/j.jcde.2017.02.005
- Koziel, S., Michalewicz, Z., 1999, "Evolutionary Algorithms, Homomorphous Mappings, and Constrained Parameter Optimization", *Evolutionary Computation*, 7(1), 19-44. doi:10.1162/evco.1999.7.1.19
- Lin, C. H., 2013, "A rough penalty genetic algorithm for constrained optimization", *Information Sciences*, 241, 119-137. doi:10.1016/j.ins.2013.04.001

- Luo, J. P., Yang, Y., Liu, Q. Q., Li, X., Chen, M. R., Gao, K. Z., 2018, "A new hybrid memetic multi-objective optimization algorithm for multi-objective optimization", *Information Sciences*, 448, 164-186. doi:10.1016/j.ins.2018.03.012
- Meena, N. K., Parashar, S., Swarnkar, A., Gupta, N., Niazi, K. R., 2018, "Improved Elephant Herding Optimization for Multiobjective DER Accommodation in Distribution Systems", *Ieee Transactions on Industrial Informatics*, 14(3), 1029-1039. doi:10.1109/Tii.2017.2748220
- Mezura-Montes, E., Coello, C. A. C., 2011, "Constraint-handling in nature-inspired numerical optimization: Past, present and future", *Swarm and Evolutionary Computation*, 1(4), 173-194. doi:10.1016/j.swevo.2011.10.001
- Niu, B., Wang, J. W., Wang, H., 2015, "Bacterial-inspired algorithms for solving constrained optimization problems", *Neurocomputing*, 148, 54-62. doi:10.1016/j.neucom.2012.07.064
- Parashar, S., Swarnkar, A., Niazi, K. R., Gupta, N., 2017, "A Modified Elephant Herding Optimization For Economic Generation Co-Ordination Of DERs And BESS In Grid Connected Microgrid", *Journal of Engineering-Joe*.
- Runarsson, T. P., Yao, X., 2000, "Stochastic ranking for constrained evolutionary optimization", *Ieee Transactions on Evolutionary Computation*, 4(3), 284-294. doi:Doi 10.1109/4235.873238
- Sambariya, D. K., Fagna, R., 2017, "A novel Elephant Herding Optimization based PID controller design for Load Frequency Control in Power System", *2017 International Conference on Computer, Communications and Electronics (Comptelix)*, 595-600.
- Sharma, A., Kumar, R., Panigrahi, B. K., Das, S., 2017, "Termite spatial correlation based particle swarm optimization for unconstrained optimization", *Swarm and Evolutionary Computation*, 33, 93-107. doi:10.1016/j.swevo.2016.11.001
- Strumberger, I., Bacanin, N., Tomic, S., Beko, M., Tuba, M., 2017, "Static Drone Placement by Elephant Herding Optimization Algorithm", *2017 25th Telecommunication Forum (Telfor)*, 808-811.
- Strumberger, I., Bacanin, N., Tuba, M., "Hybridized Elephant Herding Optimization Algorithm for Constrained Optimization", *Cham*. 158-166. 2018.
- Tuba, E., Alihodzic, A., Tuba, M., 2017, "Multilevel Image Thresholding Using Elephant Herding Optimization Algorithm", *2017 14th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (Emes)*, 240-243.
- Wang, B.-C., Li, H.-X., Feng, Y., 2018, "An improved teaching-learning-based optimization for constrained evolutionary optimization", *Information Sciences*, 456, 131-144.
- Wang, G. G., Deb, S., Coelho, L. D., 2015, "Elephant Herding Optimization", *2015 3rd International Symposium on Computational and Business Intelligence (Iscki 2015)*, 1-5. doi:10.1109/Iscki.2015.8
- Xu, B., Chen, X., Tao, L. L., 2018, "Differential evolution with adaptive trial vector generation strategy and cluster-replacement-based feasibility rule for constrained optimization", *Information Sciences*, 435, 240-262. doi:10.1016/j.ins.2018.01.014

### Appendix A. Standard Constrained Optimization Problems

#### G01 Problem

$$\min f(x) = 5 \sum_{d=1}^4 x_d - 5 \sum_{d=1}^4 x_d^2 - 5 \sum_{d=5}^{13} x_d$$

subject to

$$g_1(x) = 2x_1 + 2x_2 + x_{10} + x_{11} - 10 \leq 0$$

$$g_2(x) = 2x_1 + 2x_3 + x_{10} + x_{12} - 10 \leq 0$$

$$g_3(x) = 2x_2 + 2x_3 + x_{11} + x_{12} - 10 \leq 0$$

$$g_4(x) = -8x_1 + x_{10} \leq 0$$

G01

$$g_5(x) = -8x_2 + x_{11} \leq 0$$

$$g_6(x) = -8x_3 + x_{12} \leq 0$$

$$g_7(x) = -2x_4 - x_5 + x_{10} \leq 0$$

$$g_8(x) = -2x_6 - x_7 + x_{11} \leq 0$$

$$g_9(x) = -2x_8 - x_9 + x_{12} \leq 0$$

$$x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, 13$$

$$x_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, 9, 13$$

There are 13 decision variables and 9 constraint functions defined on the decision variables in G01 problem. The global minimum is -15 while decision variables are (1,1,...,1,3,3,3,1). The search space is  $0 \leq x_i \leq u_i, i = 1, 2, \dots, n$  and  $u = (1, 1, \dots, 1, 100, 100, 100, 1)$ .

#### G02 Problem

$$\max f(x) = \left| \frac{\sum_{i=1}^n \cos^4(x_i) - 2 \prod_{i=1}^n \cos^2(x_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n i x_i^2}} \right|$$

subject to

$$g_1(x) = 0.75 - \prod_{i=1}^n x_i \leq 0$$

$$g_2(x) = \sum_{i=1}^n x_i - 7.5n \leq 0$$

There are 20 decision variables and 2 constraint functions defined on the decision variables in G02 problem. The global maximum is unknown, the best founded solution is 0.803619 (which, to the best of our knowledge, is better than any reported value), constraint  $g_1$  is close to being active ( $g_1 = -10^{-8}$ ). The search space is  $0 \leq x_i \leq 10$ .

**G03 Problem**

$$\max f(x) = (\sqrt{n}^n) \prod_{i=1}^n x_i$$

subject to

$$h_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2 - 1 = 0$$

There are 10 decision variables and a constraint function defined on the decision variables in G03 problem. The global maximum is 1, while decision variables are  $x_i^* = \frac{1}{\sqrt{n}}$  ( $i=1, \dots, n$ ). The search space is  $0 \leq x_i \leq 1$ .

**G04 Problem**

$$\min f(x) = 5.3578547x_3^2 + 0.8356891x_1x_5 + 37.293239x_1 - 40792.141$$

subject to

$$g_1(x) = 85.334407 + 0.0056858x_2x_5 + 0.0006262x_1x_4 - 0.0022053x_3x_5 - 92 \leq 0$$

$$g_2(x) = -85.334407 - 0.0056858x_2x_5 - 0.0006262x_1x_4 + 0.0022053x_3x_5 \leq 0$$

$$g_3(x) = 80.51249 + 0.0071317x_2x_5 + 0.0029955x_1x_2 + 0.0021813x_3^2 - 110 \leq 0$$

$$g_4(x) = -80.51249 - 0.0071317x_2x_5 - 0.0029955x_1x_2 - 0.0021813x_3^2 + 90 \leq 0$$

$$g_5(x) = 9.300961 + 0.0047026x_3x_5 - 0.0012547x_1x_3 - 0.0019085x_3x_4 - 25 \leq 0$$

$$g_6(x) = -9.300961 - 0.0047026x_3x_5 - 0.0012547x_1x_3 - 0.0019085x_3x_4 + 20 \leq 0$$

There are 5 decision variables and 6 constraint functions defined on the decision variables in G04 problem. The global minimum is -30665.539 while decision variables are (78, 33, 29.995256025682, 45 and 36.775812905788). The search space is  $78 \leq x_1 \leq 102, 33 \leq x_2 \leq 45, 27 \leq x_3 \leq 45, 27 \leq x_4 \leq 45, 27 \leq x_5 \leq 45$ .

**G05 Problem**

$$\min f(x) = 3x_1 + 0.000001x_1^3 + 2x_2 + (0.000002/3)x_3^2$$

subject to

$$g_1(x) = -x_4 + x_3 - 0.55 \leq 0$$

$$g_2(x) = -x_3 + x_4 - 0.55 \leq 0$$

$$h_3(x) = 1000 \sin(-x_3 - 0.25) + 1000 \sin(-x_4 - 0.25) + 894.8 - x_1 = 0$$

$$h_4(x) = 1000 \sin(x_3 - 0.25) + 1000 \sin(x_3 - x_4 - 0.25) + 894.8 - x_2 = 0$$

$$h_5(x) = 1000 \sin(x_4 - 0.25) + 1000 \sin(x_4 - x_3 - 0.25) + 1294.8 = 0$$

There are 4 decision variables and 5 constraint functions defined on the decision variables in G05 problem. The best known solution is 5126.4981 while decision variables are (679.9453, 1026.067, 0.1188764, -0.3962336). The search space is  $0 \leq x_1 \leq 1200, 0 \leq x_2 \leq 1200, -0.55 \leq x_3 \leq 0.55, -0.55 \leq x_4 \leq 0.55$ .

**G06 Problem**

$$\min f(x) = (x_1 - 10)^3 + (x_2 - 20)^3$$

subject to

$$g_1(x) = -(x_1 - 5)^2 - (x_2 - 5)^2 + 100 \leq 0$$

$$g_2(x) = -(x_1 - 6)^2 - (x_2 - 5)^2 + 82.81 \leq 0$$

There are 2 decision variables and 2 constraint functions defined on the decision variables in G06 problem. The optimum solution is -6961.81388 while decision variables are (14.095, 0.84296). The search space is  $13 \leq x_1 \leq 100$ ,  $0 \leq x_2 \leq 100$ .

**G07 Problem**

$$\min f(x) = x_1^2 + x_2^2 + x_1x_2 - 14x_1 - 16x_2 + (x_3 - 10)^2 + 4(x_4 - 5)^2 + (x_5 - 3)^2 + 2(x_6 - 1)^2 + 5x_7^2 + 7(x_8 - 11)^2 + 2(x_9 - 10)^2 + (x_{10} - 7)^2 + 45$$

subject to

$$g_1(x) = -105 + 4x_1 + 5x_2 - 3x_7 + 9x_8 \leq 0$$

$$g_2(x) = 10x_1 - 8x_2 - 17x_7 + 2x_8 \leq 0$$

$$g_3(x) = -8x_1 + 2x_2 + 5x_9 - 2x_{10} - 12 \leq 0$$

$$g_4(x) = 3(x_1 - 2)^2 + 4(x_2 - 3)^2 + 2x_3^2 - 7x_4 - 120 \leq 0$$

$$g_5(x) = 5x_1^2 + 8x_2 + (x_3 - 6)^2 - 2x_4 - 40 \leq 0$$

$$g_6(x) = x_1^2 + 2(x_2 - 2)^2 - 2x_1x_2 + 14x_5 - 6x_6 \leq 0$$

$$g_7(x) = 0.5(x_1 - 8)^2 + 2(x_2 - 4)^2 + 3x_5^2 - x_6 - 30 \leq 0$$

$$g_8(x) = -3x_1 + 6x_2 + 12(x_9 - 8)^2 - 7x_{10} \leq 0$$

There are 10 decision variables and 8 constraint functions defined on the decision variables in G07 problem. The optimum solution is 24.3062091 while decision variables are (2.363683, 8.773926, 5.095984, 0.9906548, 1.430574, 1.321644, 9.828726, 8.280092, and 8.375927). The search space is  $-10 \leq x_i \leq 10$ , ( $i = 1, \dots, 10$ )

**G08 Problem**

$$\min f(x) = \frac{\sin^3(2\pi x_1)\sin(2\pi x_2)}{x_1^3(x_1 + x_2)}$$

subject to

$$g_1(x) = x_1^2 - x_2 + 1 \leq 0$$

$$g_2(x) = 1 - x_1 + (x_2 - 4)^2 \leq 0$$

There are 2 decision variables and 2 constraint functions defined on the decision variables in G08 problem. The optimum solution is 0.095825 while decision variables are (1.2279713, 4.2453733). The search space is  $0 \leq x_i \leq 10$ , ( $i = 1, 2$ )



**G09 Problem**

$$\min f(x) = (x_1 - 10)^2 + 5(x_2 - 12)^2 + x_3^4 + 3(x_4 - 11)^2 + 10x_5^6 + 7x_6^2 + x_7^4 - 4x_6x_7 - 10x_6 - 8x_7$$

subject to

$$g_1(x) = -127 + 2x_1^2 + 3x_2^4 + x_3 + 4x_4^2 + 5x_5 \leq 0$$

$$g_2(x) = -282 + 7x_1 + 3x_2 + 10x_3^2 + x_4 - x_5 \leq 0$$

$$g_3(x) = -196 + 23x_1 + x_2^2 + 6x_6^2 - 8x_7 \leq 0$$

$$g_4(x) = 4x_1^2 + x_2^2 - 3x_1x_2 + 2x_3^2 + 5x_6 - 11x_7 \leq 0$$

There are 7 decision variables and 4 constraint functions defined on the decision variables in G09 problem. The optimum solution is 680.6300573 while decision variables are (2.330499, 1.951372, -0.4775414, 4.365726, -0.6244870, 1.038131, and 1.594227). The search space is  $-10 \leq x_i \leq 10$ , ( $i = 1, \dots, 7$ )

**G10 Problem**

$$\min f(x) = x_1 + x_2 + x_3$$

subject to

$$g_1(x) = -1 + 0.0025(x_4 + x_6) \leq 0$$

$$g_2(x) = -1 + 0.0025(x_5 + x_7 - x_4) \leq 0$$

$$g_3(x) = -1 + 0.01(x_8 - x_5) \leq 0$$

$$g_4(x) = -x_1x_6 + 833.33252x_4 + 100x_1 - 83333.333 \leq 0$$

$$g_5(x) = -x_2x_7 + 1250x_5 + x_2x_4 - 1250x_4 \leq 0$$

$$g_6(x) = -x_3x_8 + 1250000 + x_3x_5 - 2500x_5 \leq 0$$

There are 8 decision variables and 6 constraint functions defined on the decision variables in G10 problem. The optimum solution is 7049.3307 while decision variables are (579.3167, 1359.943, 5110.071, 182.0174, 295.5985, 217.9799, 286.4162, and 395.5979). The search space is  $100 \leq x_1 \leq 10000$ ,  $1000 \leq x_i \leq 10000$  ( $i = 2, 3$ ),  $10 \leq x_i \leq 1000$  ( $i = 4, \dots, 8$ ).

**G11 Problem**

$$\min f(x) = x_1^2 + (x_2 - 1)^2$$

subject to

$$h(x) = x_2 - x_1^2 = 0$$

There are 2 decision variables and a constraint functions defined on the decision variables in G11 problem. The optimum solution is 0.75 while decision variables are  $(\mp \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{2})$ . The search space is  $-1 \leq x_i \leq 1$  and ( $i = 1, 2$ ).

**G12 Problem**

$$\max f(x) = \frac{(100 - (x_1 - 5)^2 - (x_2 - 5)^2 - (x_3 - 5)^2)}{100}$$

subject to

$$g(x) = (x_1 - p)^2 + (x_2 - q)^2 + (x_3 - r)^2 - 0.0625 \leq 0$$

There are 3 decision variables and a constraint functions defined on the decision variables in G12 problem. The feasible region of the search space consists of  $9^3$  disjointed spheres. A point  $(x_1, x_2, x_3)$  is feasible if and only if there exist  $p, q, r$  such that the above inequality holds. The optimum solution is 1 while decision variables are (5,5,5). The search space is  $0 \leq x_i \leq 10$  and  $(i = 1, 2, 3)$  also  $p, q, r = 1, 2, \dots, 9$ . The solution lies within the feasible region.

### G13 Problem

$$\min f(x) = e^{x_1 x_2 x_3 x_4}$$

subject to

$$h_1(x) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 - 10 = 0$$

$$h_2(x) = x_2 x_3 - 5 x_4 x_5 = 0$$

$$h_3(x) = x_1^3 + x_2^3 + 1 = 0$$

There are 5 decision variables and 3 constraint functions defined on the decision variables in G13 problem. The global minimum is 0.0539498 while decision variables are (-1.717143, 1.595709, 1.827247, -0.7636413, -0.763645). The search space is  $-2.3 \leq x_i \leq 2.3$  ( $i = 1, 2$ ),  $-3.2 \leq x_i \leq 3.2$  ( $i = 3, 4, 5$ ).

## METAL ENDÜSTRİSİNDE KİŞİSEL KORUYUCU DONANIM KULLANIMININ ANALİZİ

<sup>1</sup>Emin KAHYA, <sup>2</sup>Berna ULUTAŞ, <sup>3</sup>N. Fırat ÖZKAN

<sup>1,2,3</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Meşelik Yerleşkesi Endüstri Mühendisliği  
Bölümü, 26480 ESKİŞEHİR

<sup>1</sup>ekahya@ogu.edu.tr, <sup>2</sup>bhaktan@ogu.edu.tr, <sup>3</sup>fozkan@ogu.edu.tr

(Geliş/Received: 24.04.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 27.01.2019)

**ÖZ:** İş yerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması, sağlıklı ve güvenli çalışma ortamlarının oluşturulması için risklere karşı koruyucu ve önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. Kişisel koruyucu donanımlar, çalışanların sağlıklı ve güvenli olarak çalışmalarını sağlamak amacıyla, gerek kaynağında kontrol altına alınamayan risklere karşı koruyucu olarak, gerekse mevcut şartları daha iyiye taşımak için kullanılabilir ürünlerdir. Bu çalışmada, Eskişehir’deki metal sanayinde faaliyet gösteren 8 işletmede görev yapan toplam 92 işçi için, çevre koşulları ile fiziksel zorlanmalar ölçülerek, kişisel koruyucu donanımların varlığı ve kullanımı değerlendirilmiştir. İşletmelerde, gerçekleştirilen ölçümler sonucunda ortalama olarak, gürültü 91,88 dB(A), sıcaklık 23,99°C, nem %36,35 ve aydınlatma şiddeti 289,34 lüks olarak belirlenmiştir. Çalışanların %93,48’i yasal sınırın üzerinde gürültüye maruz kaldıkları, %72,83’ün sıcaklık seviyesinin iş için uygun olmadığı, nem işlerin %26,09’unda uygun olduğu ve aydınlatma şartlarının %34,78 oranında tatminkâr olduğu tesbit edilmiştir. Her çalışan en az bir kişisel koruyucu donanım kullanmaktadır. Yasal sınırın (85 db(A)) üzerinde gürültülü ortamda çalışanların yaklaşık yarısı (%43,68) kulak koruyucu kullanmadıkları, işitme kaybı sorunu yaşayanların yarısının kulak koruyucu kullanmadıkları görülmüştür. Yapılan işin (torna, freze, matkap) özelliği gereği, gözlük kullanılması gerekmesine rağmen, böyle işlerin %15’inde gözlük bulunmadığı, yaklaşık yarısında (%42,86) gözlük kullanılmamaktadır. Metal sanayinde yaygın kullanımı beklenen eldiven ve çelik burunlu ayakkabı işlerinde büyük bölümünde kullanılmaktadır. Çalışanların %17,29’unun son 5 yıl içinde en az bir iş kazası geçirdikleri ve %23,91’inin işitme, sırt ve bel ağrıları ve el kol bacak ağrıları yaşadıkları dikkate alındığında, iş kazaları ve sonuçları ile bunları engellemek için kişisel koruyucu donanım kullanımının sağlayacağı katkının eğitimler ile sağlanması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çevre faktörleri, Fiziksel zorlanma, İş sağlığı ve güvenliği, Kişisel koruyucu donanım

### Analysis of Using Personal Protective Equipment in Metal Industry

**ABSTRACT:** To ensure occupational health and safety, protective and proactive precautions are required for workplaces. When hazards cannot be controlled at the source or more protection is needed, personal protective equipment (PPE) can be used to minimize exposure to a variety of hazards. This study considers 8 facilities in metal industry at Eskişehir. Measurements are made to obtain environmental data and a questionnaire is conducted to 92 workers to assess physical stress, availability and use of PPE. Based on the measurements, average values for noise is determined as 91.88 dB(A), temperature 23.99°C, humidity 36.35%, and illumination as 289.34 lux. 93.48% of the employees are exposed to noise levels higher than the recommended limit and 72.83% of them cannot work in ideal temperature levels. On the other hand, humidity level can be considered as reasonable for 26.09% and illumination level can be considered as reasonable for 34.78% of the workers. Each employee uses at least one type of PPE. It is observed that almost half of the employees (43.68%) who work at the area where noise levels are higher than the legal limit (85 dB(A)) and half of the employees who have hear

loss problem don't use earplugs. Although employees who work at specific machines (i.e., lathe, milling, drill) have to wear eye protection glasses, 15% of the employees don't have such PPE and 42.86% of the employees don't use eye protection glasses. On the other hand, protective gloves and protective foot wear are being used in almost each department as expected in metal industry. 17.9% of the employees had a work accident within the last 5 years. Keeping in mind that 23.91% of them experience hearing problems, upper, lower back and hand, arm, leg pain, trainings for the use of PPE might help to reduce the work accidents and their consequences.

**Key Words:** *Environmental factors, Occupational health and safety, Personal protective equipment (PPE), Physical stress*

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Rekabetin yoğun yaşandığı günümüzde, işletmeler açısından; özellikle de küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde kaynakların en iyi şekilde kullanılması ve maliyetlerin aşağıya çekilmesi önem arz etmektedir. Bu kaynaklardan en önemlisi de çalışan işgücüdür (Kahya ve diğ., 2018). Bu yoğun rekabetle baş edebilmek için insan faktörünü merkeze alan yönetim anlayışlarının gelişmesi vesilesiyle insana ait iş güvenliği, iş sağlığı, iş doyumunu gibi kavramlar önem kazanmıştır (Yıldırım ve diğ., 2015).

Yaşamın önemli bir kısmını iş yerinde geçiren insanın, buradaki güvenlik ihtiyacını karşılamak amacıyla, işçi sağlığı ve iş güvenliği adı altında bazı sistematik çalışmalar yürütülmüş ve işçi sağlığı ve iş güvenliği, disiplinler arası bir kavram ve çalışma alanı olarak tüm dünyaya yayılmıştır. Dünya'da iş kazası ve meslek hastalıklarından kaynaklanan kaybedilen yaşamlar düşünüldüğünde, işçi sağlığı ve iş güvenliği hakkındaki çalışmaların ve bu konuda gerçekleştirilmesi gereken ilerlemenin önemi gözler önüne serilmektedir (Uslu, 2014). Sanayileşmiş ülkeler, günümüzde iş sağlığı ve iş güvenliği konusunda ciddi çabalar harcamak zorunda kalmışlardır. Söz konusu ülkelerin hepsi iş kazalarını ve meslek hastalıklarını olabildiğince en düşük düzeyde tutmak için uğraşmaktadırlar. Bu bağlamda, gelişmiş ülkelerde iş sağlığı ve iş güvenliği konusunun bağımsız bir bilim dalı haline geldiği ve genel toplum sağlığı içinde koruyucu sağlık hizmetlerinin önemli bir bölümünü oluşturduğu söylenebilir (Gerek, 1998).

SGK tarafından yapılan 2016 yılı iş kazası ve meslek hastalıkları istatistiklerine ([http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk\\_istatistik\\_yilliklari](http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari)) göre;

- İş kazası sayısı 286.068
- İş kazası nedeniyle ölüm 1.405
- Meslek hastalığı sayısı 597
- İşgünü kaybı 3.453.702 gün

Bu değerler dikkate alındığında, bir iş kazasında çalışanın kaybettiklerine ilaveten, her iş kazasında ortalama 12,07 günlük kayıp olmaktadır. Bu sonuçlar, Türkiye'nin Dünya'da en çok iş kazasının yaşandığı üçüncü ülke, Avrupa'da ise birinci ülke olduğunu göstermektedir. Bu vahim tablo, Türkiye'de işçi sağlığı ve iş güvenliği konusunda işveren ve işçilerin duyarsızlığının bir sonucudur. SGK 2016 istatistiklerine göre, iş kazalarının yaklaşık %20'si metal veya benzer sektörlerde (otomotiv, ekipman üretimi vb) yaşanmakta ve %67,75'i yüzeysel yaralanmalar, burkulma, çıkık, kırıklardan ibarettir. Böyle kazaların iş yerinde kişisel koruyucu donanım kullanımı ile büyük ölçüde azalması beklenmektedir.

İş kazaları ve meslek hastalıklarının tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hem ekonomik açıdan hem de yönetsel açıdan birçok olumsuzlukları beraberinde getireceği malumdur. Herhangi bir sebep olmadan, beklenmeyen bir anda, belli bir amaç güdülmeden ve rastgele gerçekleşen kaza olayının her yönü ile araştırılması ve sürekli çözümler geliştirilmesi iş kazası ve meslek hastalıklarını azaltmada gerekli olmazsa olmazlardandır (Gedik ve İlhan, 2014).

İş sağlığı ve iş güvenliğinin temel amacı çalışanları korumak, üretim güvenliğini ve üretim verimliliğini artırmak ve ayrıca her şeyden önce bireyin yaşamı ve güvenliği işten önce gelir kültürünü

yerleştirmeye çalışmak olduğudur. Çalışanları korumak noktasında iş sağlığı ve iş güvenliği konularını kapsayan koruma faaliyetlerinin her yaşam alanında yerine getirilmesi ve bunu her zaman öncelikli hale getirmek sağlıklı güvenli insan yaşam kalitesi adına önem arz etmektedir (Çolak ve Çetin, 2017).

İşyerlerinde kullanılan Kişisel Koruyucu Donanımların (KKD) bir standarda bağlanması için “Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik” (2013) yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğin amacı, işyerlerindeki risklerin önlenmesinin veya yeteri derecede azaltılmasının, teknik tedbirlere dayalı toplu koruma ya da iş organizasyonu veya çalışma yöntemleri ile sağlanmadığı durumlarda kullanılacak kişisel koruyucuların özellikleri, temini kullanımı ve diğer hususlarla ilgili usul ve esasları belirlemektir (Kahya ve Özkar, 2018). KKD, “Çalışanı, yürütülen işten kaynaklanan sağlık ve güvenliği etkileyen bir veya birden fazla riske karşı koruyan, çalışan tarafından giyilen, takılan veya tutulan, bu amaca uygun olarak tasarımı yapılmış tüm alet, araç, gereç ve cihazları” ifade eder.

“Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik” (2013) EK-2’de kişisel koruyucu donanımlar;

- 1) Baş koruyucuları
- 2) Kulak koruyucuları
- 3) Göz ve yüz koruyucuları
- 4) Solunum sistemi koruyucuları
- 5) El ve kol koruyucuları
- 6) Ayak ve bacak koruyucuları
- 7) Cilt koruyucuları
- 8) Gövde ve karın bölgesi koruyucuları
- 9) Vücut koruyucuları

olmak üzere 9 kategoride sınıflandırılmaktadır. Metal sanayinde; kulak, göz ve yüz, el ve kol, ayak ve bacak koruyucuları daha yaygın kullanılabilir koruyuculardır.

Bu çalışmada, Eskişehir’deki metal sanayide faaliyet gösteren işletmeler için KKD kullanımının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Verilerin alınmasını sağlayacak gözlem kayıt formu tasarlanmış, metal endüstrisinde faaliyet gösteren ve hidrolik pres, ekzantrik pres, torna, giyotin makas gibi tezgahların yer aldığı 8 işletmede, toplam 92 işçi ve tezgahta çevre koşulları ile fiziksel zorlanmalar için ölçüm alınmıştır. Toplanan verilerin analiz edilmesiyle, KKD varlığı ve kullanımı değerlendirilmiştir.

## BİLİMSEL YAYIN İNCELEMESİ (LITERATURE REVIEW)

İş sağlığı ve güvenliği alanında; metal, inşaat, seramik, mobilya, tekstil gibi üretim ile sağlık, eğitim gibi hizmet sektörlerinde ulusal ve uluslararası alanda yapılmış oldukça fazla sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, iş sağlığı ve güvenliği kültürü (Dursun, 2012; Özkan ve Arpat, 2016; Leitão ve Greiner, 2016; Aytaç ve diğ., 2017), KKD kullanımı ve etkinliği (Demirbilek ve Çakır, 2008; Esin ve diğ., 2012; Gedik ve İlhan, 2014; Acharya, 2014; Lu ve diğ., 2015; Çolak ve Çetin, 2017; Çolak ve diğ., 2017; Abiodun ve diğ., 2018), iş kazaları ve nedenleri (fiziksel koşulların, KKD kullanımının vb etkisi) (Camkurt, 2007; Açıkalın, 2008; Gülhan ve diğ., 2012; Camkurt, 2013; Serin ve diğ., 2015; Kim ve diğ., 2017; Gebretsadik ve diğ., 2017) gibi konular ele alınmıştır.

KKD kullanımı ile bunun iş kazaları üzerine etkilerini araştıran ve son yıllarda sunulmuş güncel çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Açıkalın (2008), seramik sektöründe, kişisel koruyucu malzemelerin temini ya da kullanılmamasının iş kazası nedeni olup olmadığı, iş kazalarının önlenmesi için gerekli olup olmadığını araştırmıştır. Eskişehir-Bozüyük bölgesindeki seramik sektöründe faaliyet gösteren 6 fabrikada çalışan, basit tesadüfi örnekleme yöntemine göre seçilen 1000 işçi ise çalışmanın örneklemini oluşturmaktadır. Anket 22 sorudan oluşmaktadır. Kişisel koruyucu malzemelerin düzenli olarak kullanılması ile iş kazası yapma yapmama arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu yani düzenli olarak kişisel koruyucu malzeme kullanıldığında iş kazalarının önlenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Gülhan vd (2012), metal sanayisinde meydana gelen kazaların sebep ve sonuçlarını inceleyerek, elde edilen bilgiler doğrultusunda kazaların önlenmesine yönelik tavsiyelerin geliştirilmesi amaçlayan bir

çalışma sunmuştur. Çalışmada, Ankara’da faaliyet gösteren ağır metal imalat, konstrüksiyon ve inşaat sanayi şirketinde Nisan-Haziran 2008 aylarında, çalışan 210 işçinin 201’ine anket uygulanması yürütülmüştür. İş kazalarının nedenleri olarak yetersiz kişisel koruyucu ekipman kullanımı (%44), dikkatsizlik (%37), kişisel nedenler (%17) ile makine ve tezgahlarda güvenlik önlemlerinin alınmaması ve makinelerin uygun olmaması (%17) belirlenmiştir.

Camkurt (2007), işyeri çalışma sistemi, ergonomik yapı ve işyeri fiziksel faktörlerin iş kazası üzerine etkilerini ele almıştır. Camkurt (2013) ise, iş kazalarının nedenleri arasında büyük bir oranla yer alan ve umulmadık olaylar hariç, hemen her iş kazasının doğrudan ya da dolaylı nedenleri arasında yer alan insan davranışına bağlı nedenlerden, yaş, cinsiyet, deneyim, eğitim gibi çalışanların kişisel özellikleri üzerinde durmuştur.

Serin vd (2015), Kahramanmaraş ilinde iş kazası geçirmiş ve davası sonuçlanan kişilerin adres bilgileri savcılıktan alarak 30 kişiye anket uygulamışlardır. Anket sonucunda elde edilen veriler SPSS ortamında değerlendirilmiştir. Makinelerin %75,9’unda koruyucularının bulunmadığı ve %93,1 oranında koruyucu sistem ekipmanlarının yetersiz olduğu, çalışanların %44,8’inin kişisel koruyucu donanım kullanmadığı, iş yerlerinin %69’unda tıbbi müdahale birimi bulunmadığı ve kaza geçirenlerin %96,6’sına tıbbi ilk müdahalenin yapılmadığı saptanmıştır. Ayrıca, kaza geçirenlerin %20,7’sinin ağır yaralandığı, %17,2’sinin uzuv kaybı yaşadığı ve %62,1’inin de hafif yaralandığı belirlenmiştir.

Çolak ve Çetin (2017), mobilya sektöründe iş sağlığı ve güvenliği şartlarının anlaşılması, işletmelerdeki iş sağlığı ve güvenliği risklerinin tespit edilmesi ve işletmelerde acil durumlara yönelik önlemlerin ne derecede uygulanmakta olduğunun ortaya konulması amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Çalışma kapsamında kullanılan anket formu demografik değişkenleri ölçmek için 7 soru ile personel yaklaşımlarını, algılarını, tutumlarını ve davranışlarını ölçmek için oluşturulan 3’lü Likert ölçeği ile 16 soru yöneltilmiş toplam 182 adet anket uygulanmıştır. Katılımcıların çoğunluğu iş yerindeki iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının o iş yerindeki iş verimini ve kaliteyi olumlu etkilediğini, KKD kullanımının ise %50’nin üzerinde bir oranla istekle kullanıldığı tespit edilmiştir.

Çalışmalar incelendiğinde, metal sektöründe muhtelif işletmelerde KKD kullanımı ve iş kazaları ile ilişkisini inceleyen çalışma ile karşılaşmamıştır.

## YÖNTEM (METHOD)

Eskişehir’de metal sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde, kapsamlı bir projenin bir parçası olarak; a) çevre koşullarının düzeyi, b) fiziksel zorlanmalar düzeyine bağlı olarak kişisel koruyucu donanım kullanımının tespiti amacıyla gözlem kayıt formu tasarlanmıştır. Form; genel bilgiler, kişisel koruyucu kullanımı, çevre koşulları ve fiziksel zorlanma düzeyi kesimlerinden oluşmaktadır. Genel bilgiler; işletme, işçi (görevi, yaş, eğitim, deneyim) ve tezgâh (türü, çalışma şekli) bilgilerini içermektedir. Kişisel koruyucu kullanımı; kulaklık, gözlük, maske gibi donanımın varlığı ile kullanımı durumunu içermektedir. Fiziksel zorlanmalar; çalışma şekli, kaldırılan ağırlık ve frekansı kapsamaktadır. Çevre koşulları ise, metal sanayinde yaygın karşılaşılan gürültü, sıcaklık, nem ve aydınlatma şartlarından ibarettir.

Ölçümlere başlamadan önce “Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu”ndan etik onayı alınmıştır. Uygulama yapılacak tüm işletme yöneticiler ziyaret edilerek, çalışmanın amacı ve uygulamanın nasıl yürütüleceği detaylı bir şekilde açıklanmış, her türlü verilerin gizli tutulacağı, sadece sonuçların yayınlanacağı belirtilmiştir. Ocak 2016 - Haziran 2017 arasında 8 ayrı işletmede toplam 92 ölçüm alınmıştır.

Metal sanayinde yaygın olarak kullanılan presler (hidrolik, ekzantrik ve abkant), giyotin makas, freze, torna ve taşlama tezgâhlarında ölçümler alınması hedeflenmiştir. Bir tezgâhta sıcaklık, nem, gürültü ve aydınlatma için 2-3 dk aralıklarla 10 ölçüm alınmıştır. Ölçümler esnasında, çok fonksiyonlu portatif ölçüm cihazı (Extech Instruments EN300 Environmental Meter) kullanılmış, KKD bilgileri gözlemleyerek, diğer bilgiler (kişisel bilgiler, iş kazası, sağlık, yük kaldırma vb) işçinin beyanı ile alınmış ve gözlem kayıt formuna geçirilmiştir.

**BULGULAR (RESULTS)**

Her gözleme ilişkin veriler için, tümüyle veya kategoriler halinde, istatistiki sonuçların alınabilmesi için, SPSS 24 programına girilmiş, ortalama, standart sapma, frekans dağılımı hesaplanmıştır. Sonuçların, muhtelif kategoriler arasında, %95 güven düzeyi ile, anlamlı fark olup olmadığının tespiti amacıyla, SPSS 24 "One Way ANOVA : Post Hoc Multiple Comparison" Tukey test analizi yapılmıştır.  $p < 0.05$  olması istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

Ölçüm alınan tezgâhlar ile bu tezgâhlarda çalışan işçilere ait ilgili bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. Gözlem yapılan tezgâhlarda çalışan işçilerin tamamı erkektir, yaş ortalaması 41,10 (standart sapma 8,39) yıl olup %75'i 30-50 yaş aralığındadır. İşçilerin yarısı ilkokul ve/veya ortaokul mezunudur. İşçilerin yaptığı işte deneyim ortalama 8,49 yıl olup %66'sı 1-21 yıl tecrübeye sahiptir. Ölçüm yapılan tezgâhların 59'u (%64) pres (hidrolik ve ekzantrik), diğer yaygın olanlar giyotin makas, torna, taşlama ve matkaptır. Tezgâhların %36'sı otomatiktir.

**Çizelge 1.** Ankete katılanlar ve tezgâh bilgileri*Table1. Information about participants and machines*

Kategori	Özellik	Frekan s
Yaş (yıl)	00 - 19	1
	20 - 29	7
	30 - 39	31
	40 - 49	38
	50 - 59	13
	60 -	2
Eğitim	İlk okul	33
	Ortaokul/İlköğretim	12
	Lise/Meslek Lisesi	43
	Önlisans	2
	Lisans	1
	Cevap Yok	1
Deneyim (yıl)	0 - 0,9	14
	1 - 4,9	26
	5 - 9,9	14
	10 - 14,9	21
	15 - 19,9	4
	20 - 29,9	9
	30 -	2
	Cevap Yok	2
Tezgâh Türü	Ekzantrik Pres	30
	Hidrolik Pres	30
	Giyotin Makas	7
	Matkap	5
	Torna	7
	Freze	3
	Taşlama	6
	Diğer	4
Tezgâh Çalışma Şekli	Otomatik	33
	Manuel	59

**Çevre Koşullarına İlişkin Sonuçlar (Results For Environmental Factors)**

Çevre koşullarına ilişkin istatistikî bilgiler Çizelge 2’de özetlenmiştir. Çalışma yapılan işletmelerdeki gürültü seviyesi 82-110 dB(A) arasında değişmekte ve %90’ı 85 dB(A) üzerindedir. Gürültü düzeyi ortalamasının 91,88 dB(A) olduğu belirlenmiştir. 28 Temmuz 2013 tarih ve 28721 sayı RG ile kabul edilen “ÇALIŞANLARIN GÜRÜLTÜ İLE İLGİLİ RİSKLERDEN KORUNMALARINA DAİR YÖNETMELİK” Madde 5’de “En yüksek maruziyet eylem değerleri: ( $L_{EX, 8\text{saat}}$ ) = 85 dB(A)” belirtmektedir. Sınır değer 85 dB(A) olduğu dikkate alındığında, metal saniyedeki işlerin %93,48’inde gürültü seviyesi yasal limitin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.



**Çizelge 2.** Çevre koşulları

Table 2. Environmental factors

	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Gürültü (dB(A))	91,88	5,68	82,26	110,26
Sıcaklık (°C)	23,99	2,90	16,22	29,74
Nem (%)	36,35	7,26	22,69	54,92
Aydınlatma (Lüks)	289,34	188,26	33,20	902,70

Sıcaklık düzeyi, ortalama 23,99 °C olup işyeri sıcaklığının dış ortam sıcaklığı ve mevsim ile yakın ilişkisi vardır. Sonbahar ve yaz mevsimlerinde işyeri sıcaklığı daha yüksek (~27°C), kış mevsimlerinde ise daha düşük (~24°C) tespit edilmiştir. Nem oranının ortalama %36,35 olduğu belirlenmiştir. Bu değer, sonbahar ve kış aylarında %30, ilkbaharda %36 ve yazın %46 seviyelerindedir. İşlerin %90'ında nem oranı %50 altında olduğundan havanın kuru yapıya sahip olduğu söylenebilir. İşyerleri için en uygun nem oranı %40-%60 arasında olup ideal nem oranı %50'dir. Nem oranı sadece %26,09 oranında uygundur. Uygun olmayan nem ise, düşük nemdir.

Aydınlatma şiddeti ortalamasının 289,34 lüks olduğu belirlenmiştir. Değerlerin 33,2-907,2 lüks aralığında değiştiği belirlenmiştir. TS EN 12464-1 : 2011 standardında, "Metal işleme ile ilgili endüstriyel aktiviteler" kategorisindeki işler için aydınlatma şiddeti (lüks);

- ❖ Makina ile kaba ve/veya vasat işleme: toleransları > 0,1 mm 300
- ❖ Makina ile ince ve hassas işleme; taşlama: toleransları < 0,1 mm 500
- ❖ Makinayla sac işleme: kalınlığı > 5 mm 200
- ❖ Sac ile çalışma: kalınlığı < 5 mm 300

önerilmiştir. Bu nedenle; tezgâhlarda ölçülen aydınlatma şiddeti (lüks);

- ❖ Presler (Ekzantrik ve Hidrolik), giyotin makas vb. 300
- ❖ Matkap, torna, freze, taşlama 500

üzerinde ise "UYGUN" olarak değerlendirilir. Tezgâhların %34,78'inde aydınlatma düzeyi tatminkârdır.

### İş Kazaları ve Sağlık Sorunları (Occupational Accidents And Health Problems)

Çalışmaya katılan işçilerin iş kazası ve yaşadıkları sağlık problemleri Çizelge 3'de verilmiştir. İşçilerden %71'i son 5 yıl içinde hiç iş kazası geçirmemiştir. En az bir gün işgücü kaybı yaşayanlar 4, bir hafta işgünü kaybı yaşayanlar 11 ve bir aydan fazla işgünü kaybı olanlar ise 16'dır. Başka bir deyişle çalışanların %17,39'u son 5 yıl içinde en az bir iş kazası geçirmiş olup bu nedenle en az bir ay işgücü kaybı oluşmuştur. %4,35'i ise en az iki kez iş kazası geçirmiştir.

**Çizelge 3.** İş kazaları ve sağlık problemleri*Table 3. Occupational accidents and health problems*

Kategori	Özellik	Frekans
İş Kazası (Son 5 Yıl)	Yok	65
	En az bir günlük işgücü kaybı	4
	Bir hafta işgücü kaybı	11
	Bir aydan fazla işgücü kaybı	16
Sağlık Problemleri	Yok	70
	İşitme kaybı	9
	Solunum yolları	0
	Sırt ve bel ağrıları	12
	El-kol-bacak ağrıları	8
Göz İle İlgili Kusur	Yok	82
	Miyop	4
	Hipermetrop	5
	Her ikisi de	1

Çalışanların %23,91'i sağlık problemi yaşamakta, en fazla ise sırt ve bel ağrıları (%13) ile karşılaşmaktadır. Solunum yolları rahatsızlığı ise tespit edilmemiştir. Çalışanların %10,87'si göz ile ilgili kusur ile karşılaşmıştır.

#### **Kişisel Koruyucu Donanım Kullanımı (Using Personal Protective Equipment)**

Kişisel koruyucu donanım kullanımına ilişkin frekanslar Çizelge 4'de verilmiştir. İşveren çalışanların büyük bölümüne (%93,48) kulaklık tedarik etmesine rağmen bunların yarıya yakını (%43) koruyucuyu kullanmamaktadır. Gözlük tüm metal sanayi işlemleri için gerekmediğinden, çalışanların %51'inde gözlük bulunmamaktadır. Gözlük olan işçilerin de %67'si gözlük kullanmayı tercih etmektedir.

**Çizelge 4.** Kişisel koruyucu donanım kullanımı*Table 4. Use of personal protective equipment*

Koruyucu Adı	Yok	Kullanılmıyor	Kullanılıyor
Kulaklık/ kulak tıkacı	6	37	49
Gözlük	47	30	15
Kask	50	42	-
Toz maskesi	47	38	7
Eldiven	4	10	78
Çelik burunlu ayakkabı	-	1	91

Metal sanayindeki süreçlerin özelliği gereği kask ve toz maskesi bulunması azdır. Eldiven ise yaygın kullanım bulmaktadır. Metal sanayine ağır parçalar ile çalışıldığı dikkate alındığından işçilerin tamamında çelik burunlu ayakkabı bulunması ve bunların tamamına yakının kullanması sevindiricidir.

#### **Fiziksel Zorlanmalar (Physical Stress)**

İşçilerin çalışma şekilleri ve kaldırdıkları ağırlıklar ile frekansları Çizelge 5'de verilmiştir. Çalışanların %71,74'ü tamamen veya çoğunlukla ayakta çalışmaktadırlar. Yaklaşık olarak %61,96'sı 5 kg.dan az parçaları kaldırma yapmaktadır. Sınır değer olarak kabul edilen 15 kg.dan fazla ağırlık kaldıranların oranı ise oldukça fazladır, %26,09. Çalışanların yarısı her 5 dk.da bir ağırlık kaldırma yapmaktadır.

**Çizelge 5.** Fiziksel zorlanmalar*Table 5. Physical stress*

Kategori	Özellik	Frekans
Çalışma Şekli	Devamlı ayakta	60
	Çoğunlukla ayakta	6
	Devamlı oturarak	7
	Çoğunlukla oturarak	19
Kaldırılan Ağırlık	1 kg'dan az	26
	1-2 kg	14
	2-5 kg	17
	5-10 kg	5
	10-15 kg	6
	15 kg' dan fazla	24
Yük Kaldırma Sıklığı (Bir Günde)	5 dk' dan az	50
	5-15 dk.	13
	15 dak-1 saat	11
	1-2 saat	2
	2-4 saat	6
	4 saatten fazla	10

**TARTIŞMA (DISCUSSION)**

Meslek hastalığına neden olan en önemli çevre faktörü gürültüdür. Gürültü çalışanların konsantrasyonunu zayıflatır, dikkatlerini azaltır, reaksiyon kapasitelerini düşürür. Gürültünün en önemli etkisi işitme kaybıdır. Gürültüye maruz kalma süresi, şiddeti, frekansı, kesintili veya sürekli olması, kişinin yaşı, hassasiyeti, gürültü etkisiyle oluşacak rahatsızlığın derecesini belirler. "ÇALIŞANLARIN GÜRÜLTÜ İLE İLGİLİ RİSKLERDEN KORUNMALARINA DAİR YÖNETMELİK" Madde 5'de "En yüksek maruziyet eylem değerleri: ( $L_{EX, 8\text{saat}}$ ) = 85 dB(A)" belirtilmektedir. Çalışma yapılan işletmelerdeki gürültü seviyesi 82-110 dB(A) arasında değişmekte ve %90'ı 85 dB(A) üzerindedir. Yasal sınırın (85 dB(A)) üzerinde gürültülü ortamda çalışanların yaklaşık yarısı (%43,68) kulak koruyucu kullanmamaktadırlar. Yönetmelikteki en yüksek maruziyet eylem değeri dikkate alındığında, metal saniyede gürültü düzeyinin oldukça yüksek olduğu dolayısıyla sadece tezgâh başında çalışanlar değil, atölye içindeki tüm çalışanların koruyucu kullanması zaruridir.

Uygun olmayan sıcaklık, nem ve aydınlatma, iş görenin performansını azaltır, kaliteyi düşürür, iş kazası riskini artırır. En az bir iş kazası geçirenler (N=27) ile hiç kaza geçirmemişler (N=65) arasında, %95 güven düzeyi ile, anlamlı fark olup olmadığının tespiti amacıyla, SPSS 24 "One Way ANOVA : Post Hoc Multiple Comparison" Tukey test analizi yapılmıştır. Dört çevre koşulu için ortalamalar arasında anlamlı fark olmadığı ( $p>0.05$ ) tespit edilmiştir (Çizelge 6).

**Çizelge 6.** Çevre koşulların iş kazasına etkisi*Table 6. Effect of environmental factors to the work accidents*

Çevre Faktörü	İş Kazası	N	Ortalama	Std. Sapma
Gürültü	E	27	90,9419	4,95552
	H	65	92,2756	5,94263
Sıcaklık	E	27	23,4764	2,85949
	H	65	24,2084	2,90813
Nem	E	27	36,5623	7,53908
	H	65	36,2614	7,19580
Aydınlatma	E	27	292,9319	184,12189
	H	62	287,7704	191,49924

Bazı çalışmalarda iş kazasına neden olan önemli faktörlerin KKD kullanılmaması ile eğitim yetersizliği olduğu tespit edilmiştir. En az bir iş kazası geçirenler KKD kullanım frekanslar Çizelge 7’de verilmiştir. İş kazası geçirenlerin %51,85’i kulaklık koruyucu kullanmadıkları, %81,48’i gözlük kullanmadıkları anlaşılmaktadır. Gülhan ve diğ., (2012) tarafından metal sanayide yapılan çalışmada, iş kazası nedeni olarak %44 oranında KKD etkin kullanılmaması bulunmuştur. Serin ve diğ. (2015) de iş kazası geçirenlerin %44,8’inin KKD kullanmadığını tespit etmiştir. Bu sonuçları büyük ölçüde çalışmamız ile örtüşmektedir.

**Çizelge 7.** Kişisel koruyucu donanım kullanımının iş kazasına etkisi

*Table 7. Effect of personal protective equipment use to the work accidents*

<b>Koruyucu Adı</b>	<b>Yok</b>	<b>Kullanılmıyor</b>	<b>Kullanılıyor</b>
Kulaklık/ kulak tıkacı	1	13	12
Gözlük	11	11	5
Kask	13	14	-
Toz maskesi	14	13	-
Eldiven	1	2	24
Çelik burunlu ayakkabı	-	1	26

Çalışanların %71,74’ü devamlı veya çoğunluk ayakta çalışmasına (Çizelge 5) rağmen, iş kazası geçirenlerin %78’i işlerini sürekli veya çoğunlukla ayakta yerine getirmektedir. Bu sonuç, ayakta çalışmanın, oturarak çalışmaya göre iş kazasını arttırdığı belirtilebilir.

SGK 2016 yılı iş kazası ve meslek hastalıkları istatistiklerine göre, iş kazalarının %34,12’si 20-29 ve %33,06’sı 30-39 yaş grubundaki çalışanlar tarafından yapılmaktadır. Başka bir deyişle, iş kazalarının %67,18’i 20-39 yaş grubundaki işçiler tarafından yapılmaktadır. İş kazası yapanların yarısından fazlası (%54,81), aynı işletmede çalışmaya başladıktan bir yıl içinde iş kazasına maruz kalmaktadır. Gözlemlenen işletmelerde iş kazası yapmış işçilerin yaş, eğitim ve deneyim özellikleri incelendiğinde, en fazla kaza yapanların 40-49 yaş grubunda (bu yaş grubundaki çalışanların %36,48), 5-15 yıl deneyime sahip oldukları tespit edilmiştir. Eğitim düzeyi açısından ise bir fark oluşmamıştır. Bu sonuçlar SGK sonuçları ile örtüşmemektedir. Bunun en önemli nedeninin metal sektörünün, diğer sektörler ile karşılaştırıldığında, İSG konusunda daha fazla hassasiyet göstermesi olabilir.

Kulak koruyucu, metal sanayindeki çoğu tezgâhlarında çalışanlar için gerekli olmasına rağmen, gözlük, parça veya talaş fırlama riskli olan torna, freze, matkap ve taşlama gibi talaş kaldırma tezgâhları için kullanımı zorunlu bir donanımdır. Böyle 21 tezgâhın yarısından fazlasında (%52,38) ya gözlük yok ya da olmasına rağmen kullanılmamaktadır. Bu durum çoğunlukla ilk yardım ile sonuçlanan iş kazalarına neden olmaktadır.

Kask ve toz maskesi, çalışma kapsamına alınan tezgâhlarda çalışan işçilerin kullanabileceği türden koruyucu donanımlar değildir. Ancak ağır ve köşeli olması nedeniyle kesici parçalar ile çalışılması nedeniyle, eldiven ve çelik burunlu ayakkabı kullanımı oldukça yaygındır. Yine de çalışanların %15,22’si eldiven kullanmamaktadır. Eldiven kullanmayanların %78’57’si pres tezgâhlarında çalışanlardır. Kullanımı tercih etmemede en büyük faktörün, eldivenli iken paletten kesilmiş bir parçanın alınmasının zorluğu olabileceği tahmin edilmektedir.

Araştırmalara göre endüstriyel işlerin ortalama üçte biri; kaldırma, indirme, tutma, taşıma, itme veya çekme gibi elle taşıma işlerinden biri ile bağlantılı ve elle taşıma işlerinin bel rahatsızlıklarına sebep olduğu yönünde güçlü kanıtlar bulunmaktadır (Akay ve Toksari, 2009). Metal sektörü emek yoğun sektörler arasında yer almaktadır. Çalışma esnasında 30 kg.a kadar varan ağırlıkta parçaların kaldırma ve indirilmesi ile uygunsuz çalışma pozisyonları gibi fiziksel etkenlere maruz kalındığından, işçilerde işe bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlıkları ile iş kazaları (yaralanma ve sakatlanma) olabilmektedir. Çizelge-8’den de açıkça görülebileceği gibi, işlerin %43,48’i 2 kg.dan az parçaları kaldırma gibi faaliyetleri yerine getirmesine rağmen %26,09’u, bazı kurumsallaşmış işletmeler tarafından sınır olarak kabul edilen, 15 kg üstü parçaları kaldırma ile karşı karşıyadır. Bu ağırlıktaki parçaların gün boyu sık

frekanslarla işlenmesi sırt bel ağrıları gibi kas iskelet sistemi hastalıklarına, hatta fitik gibi hastalıklara neden olabilmektedir.

**Tablo 8.** Kaldırılan ağırlık ve frekans ilişkisi  
*Table 8. Relationship with frequency and weight of material lift*

Kaldırılan Ağırlık	5 dk'dan az	5-15 dk.	15 dak-1 saat	1-2 saat	2-4 saat	4 saatten fazla	Toplam
1 kg'dan az	23 (%88,5)	2 (%7,7)	0	0	0	1 (%3,8)	26
1-2 kg	11 (%78,6)	2 (%14,3)	1 (%7,1)	0	0	0	14
2-5 kg	12 (%70,6)	1 (%5,9)	1 (%5,9)	0	2 (%11,8)	1 (%5,9)	17
5-10 kg	0	0	2 (%40)	1 (%20)	2 (%40)	0	5
10-15 kg	0	2 (%33,3)	3 (%50)	1 (%16,7)	0	0	6
15 kg'dan fazla	4 (%16,7)	6 (%25)	4 (%16,7)	0	2 (%8,3)	8 (%33,3)	24
Toplam	50 (%54,3)	13 (%14,1)	11 (%12)	2 (%2,2)	6 (%6,5)	10 (%10,9)	92

Sırt ve bel ağrıları (12 kişi) ve el kol bacak ağrıları (8 kişi) şikâyetlerinde bulunan işçilerin kaldırdıkları ağırlıklar incelendiğinde, daha fazla ağırlık kaldıranların sırt ve bel ağrılarından şikâyet ettikleri anlaşılmaktadır.

#### SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada, Eskişehir'deki metal sanayide faaliyet gösteren ve hidrolik pres, ekzantrik pres, torna, giyotin makas gibi tezgahların yer aldığı 8 işletmede, kişisel koruyucu donanım kullanımının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Verilerin alınmasını sağlayacak gözlem kayıt formu tasarlanmış, metal endüstrisinde faaliyet gösteren ve hidrolik pres, ekzantrik pres, torna, giyotin makas gibi tezgahların yer aldığı 8 işletmede, toplam 92 işçi ve tezgahta çevre koşulları ile fiziksel zorlanmalar için ölçüm alınmıştır. Toplanan verilerin analiz edilmesiyle, kişisel koruyucu donanımların varlığı ve kullanımı değerlendirilmiştir. Erişilebilir literatür taramasına göre, bu çalışma, metal sektöründe çok sayıda işletmede çevre koşulları (objektif ölçümlerle) ile kişisel koruyucu donanım kullanımına yönelik ilk çalışmadır.

Meslek hastalığına neden olan en önemli çevre faktörü olan gürültü, çalışanların konsantrasyonunu zayıflatır, dikkatlerini azaltır, reaksiyon kapasitelerini düşürür, uzun dönemde sağırılık meslek hastalığına neden olur. Çalışma yapılan işletmelerdeki işlemlerin %90'ı 85 dB(A) üzerinde gerçekleştirilmektedir. Dikkat çekici bir sonuçtur ki işverenler çalışanların büyük bölümüne (%93,48) kulak koruyucu tedarik etmesine rağmen bunların yarıya yakını (%43) koruyucuyu kullanmamaktadır. Gözlük, metal sanayinde, parça veya talaş fırlama riski olan torna, freze, matkap ve taşlama gibi talaş kaldırma tezgâhları için kullanımı zorunlu bir donanımdır. Gözlenen 21 tezgâhın yarısından fazlasında (%52,38) ya gözlük yok ya da olmasına rağmen kullanılmamaktadır. Bu durum çoğunlukla ilk yardım ile sonuçlanan iş kazalarına neden olmaktadır. Eldiven ve çelik burunlu ayakkabı kullanımı oldukça yaygındır. Yine de çalışanların çok azı eldiven kullanmamaktadır. Bu donanımların kullanım oranını yükseltilebilmesi için kullanımın önemi üzerine eğitimlerin planlanması gerekmektedir.

Bu çalışma ile ilgili dikkate alınması gereken ve gelecek çalışmalar için katkı sağlaması ümit edilen bazı sınırlamalar bulunmaktadır.

a) Çalışanların son 5 yıl içinde geçirdikleri iş kazası, işten kaynaklı sağlık kaldırılan ağırlık ve frekans bilgileri işçilerin beyanı esaslıdır. İşçilerin, kendi aleyhlerinde olabileceği düşüncesi ile eksik veya yanlış bilgi verme ihtimali vardır.

b) Eskişehir Sanayi Odası'nda 698 işletme kayıtlı olup bunların 83 adeti metal sanayi (metal işleme) grubunda yer almaktadır. Bu çalışmada ise 100-200 arası işçi çalıştıran orta ölçekli 8 işletmede ölçümler alınmıştır. Daha fazla sayıda işletmede ölçümlerin alınması daha güvenilir sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır. Ancak, yaklaşık %10 örnekleme az değildir.

c) Uygun olmayan gürültü, sıcaklık, nem ve aydınlatma iş kazası riskini artırır. En az bir iş kazası geçirmişler ile hiç kaza geçirmemişler arasında, %95 güven düzeyi ile bu dört çevre faktörlerin ortalamaları arasında anlamlı fark olmadığı görülmüştür. Bu beklenen ilişkinin gerçekleşmemiş olması, işçilerin bilgi saklamasından kaynaklanmış olabilir.

Araştırmaya katılım sağlayan işletmelerdeki işçilerin verdikleri cevaplar dikkate alındığında, eldiven ve çelik burunlu ayakkabı kullanımı konusunda hassasiyet gösterilmesine rağmen kulak koruyucu ve gözlük kullanımı konusunda gerekli özen gösterilmemektedir. Bu olumsuzluk iş kazası riskini artıracaktır. Gerek eğitim-öğretim yıllarında ve gerekse işletmede çalışmalar esnasında verilecek her türlü uygulamalı veya teorik İş Sağlığı ve Güvenliği eğitim ve seminerleri ile iş kazası ve meslek hastalıklarını azaltmada önemli bir etken olacağı öngörülerimiz arasındadır.

İş kazalarının meydana gelmesi üzerinde kaza nedenlerinin ağırlık oranları konusunda farklı araştırmalara dayanan değişik görüşler olmakla birlikte, iş kazalarının %80'inin işçinin kusur ve ihmeline (güvensiz hareketler), %18'inin fizik ve mekanik çevre koşullarına (güvensiz şartlar), %2'sinin ise umulmadık olaylara bağlı olarak meydana geldiği kabul görmektedir. Bu genelleme, aslında iş kazalarının yaklaşık olarak %98'i üzerinde önleyici tedbirlerin alınabileceğini ortaya koymaktadır. İşçilerin özellikle eğitim seviyesi, tecrübe düzeyi ve psikolojik durumları emniyetsiz hareketlerin yapılmasında önemli bir rol oynamaktadır. İşletmelerde iş sağlığı ve güvenliğine yönelik yapılacak yatırımlar sayesinde meslek hastalıklarının, iş kazalarının, işyeri ölümlerinin azalması ve işletmelerde yüksek verimlilik getirisi sağlanacağı açıktır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma ESOGÜ tarafından 2017-1476 nolu Bilimsel Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abiodun, O.P., Aturaka, S.O., Oladapo, O., Nwofe, J., Abiola, A., Olushola, O., Teniola, O., 2018, "Assessment of the Knowledge, Attitudes and Perception of Potential Occupational Hazards by Automobile Workers in Makurdi, Benue State, Nigeria", *American Journal of Health Research*, Cilt 6, Sayı 2, 37-43
- Acharya, S.R., 2014, "Utilization Pattern of Personal Protective Equipment among Industrial Workers of Nawalparasi, Nepal", *Health Prospect : Journal of Public Health*, Cilt 13, Sayı 2, 24-28.
- Açıkalın, C., 2008, "Eskişehir-Bozüyük Bölgesindeki Seramik Sektöründe İş Kazaları Ve Kişisel Koruyucu Malzeme Kullanımının Kazalar Üzerindeki Etkisi", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt 9, Sayı 1, 133-154.
- Akay, D., Toksari, M. D., 2009, "Ant Colony Optimization Approach for Classification of Occupational Low Back Disorder Risks", *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Cilt 19, Sayı 1, 1-14.
- Aytaç, S., Özok, A.F., Yamankaradeniz, N., Akalp, G., Çankaya, O., Gökçe, A., Tüfekçi, U., 2017, "İSG Kültürü Oluşmasında Metal Sanayinde Çalışan Kadınların Risk Algısı Üzerine Bir Araştırma", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Cilt 5 (ÖS: Ergonomi2016), 59-67.
- Camkurt, M. Z., 2007, "İşyeri Çalışma Sistemi Ve İşyeri Fiziksel Faktörlerinin İş Kazaları Üzerindeki Etkisi", *Türk İş Hukuku ve İktisat Dergisi*, Cilt 21, Sayı 1, 80-106.

- Camkurt, M. Z., 2013, "Çalışanların Kişisel Özelliklerinin İş Kazalarının Meydana Gelmesi Üzerindeki Etkisi", *TUHSİ İş Hukuku ve İktisat Dergisi*, Cilt 24 Sayı 6, 70-101.
- Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, 28 Temmuz 2013 tarih ve 28721 sayılı Resmi Gazete. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130728-11.htm>
- Çolak, M., Korkut, Ş., Çetin, T., 2017, "Assessment of Personal Protective Equipment in Business", *PressAcademia Procedia (PAP)*, Cilt 3, 488-494.
- Çolak, M., Çetin, T., 2017, "Analysis of the Occupational Health and Safety at SMEs", *Research Journal of Business and Management*, Cilt 4, Sayı 3, 384-389.
- Demirbilek, T., Çakır, Ö., 2008, "Kişisel Koruyucu Donanım Kullanımını Etkileyen Bireysel Ve Örgütsel Değişkenler", *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt 23 Sayı 2, 173-191.
- Dursun, S., 2012, *İş Güvenliği Kültürü*, Beta Yayınları, İstanbul.
- Esin, M.N., Dilek Yılmaz, D., Ardıç, A., 2012, "Otomotiv Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir Fabrikanın Kaynak Bölümü Çalışanlarında Maske Kullanımı ve Etkileyen Faktörler", *TAF Preventive Medicine Bulletin*, Cilt 11 Sayı 3, 299-306.
- Gebretsadik, M., Kumie, A., Gebremichael, G., 2017, "Magnitude of occupational injury and associated factors among factory workers in Ethiopia: The case of Muger Cement Factory", *Journal of Public Health and Epidemiology*, Cilt 9 Sayı 12, 318-331.
- Gerek, N., 1998, *Türkiye'de İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği*, Türk Metal Sendikası Yayınları, Ankara.
- Gedik, T., İlhan, A., 2014, "Sakarya İli Mobilya İmalatçılarında İş Sağlığı ve İş Güvenliği Üzerine Bir İnceleme", *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Cilt 15, 123-129.
- Gülhan, B., İlhan, M.N., Civil, S.F., 2012, "Occupational Accidents and Affecting Factors of Metal Industry in a Factory in Ankara", *Turkish Journal of Public Health*, Cilt 10 Sayı 2, 76-85.
- Kahya, E., Özkar, D., 2018, *İş Güvenliği*, İkinci baskı, Dorlion Yayınları, Eskişehir.
- Kahya E., Haktanırlar Ulutas B., Ozkan N.F., 2018, "Analysis of Environmental Conditions in Metal Industry", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Cilt 6 Sayı 1, 38-46.
- Kim, T.K., Jeon, B.C., Bae, E., Bae, K.K., Han, K.T., Park, E.C., 2017, "Association Between Personal Protective Equipment Use and Injury Occurrence Among the Republic of Korea Armed Forces", *Military Medicine*, Cilt 182, e1900-e1907.
- Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik, 2 Temmuz 2013 tarih ve 28695 sayılı Resmi Gazete. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130702-2.htm>
- Leitão, S., Greiner, B.A., 2016, "Organisational Safety Climate and Occupational Accidents and Injuries: An Epidemiology-Based Systematic Review", *Work & Stress : An International Journal of Work, Health & Organisations*, Cilt 30, 71-90.
- Lu, L., Shi, L., Han, L., Ling, L., 2015, "Individual and Organizational Factors Associated With The Use of Personal Protective Equipment By Chinese Migrant Workers Exposed To Organic Solvents", *Safety Science*, Cilt 76, 168-174.
- Özkan, Y., Arpat, B., 2016, "İşletmelerde Uygulanan Yönetim Sistemlerinin Güvenlik Kültürü Üzerine Etkisi: Denizli İli – Metal Sektörü Örneği", *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, Cilt 4 Sayı 4, 195-221.
- Serin, H., Şahin, Y., Şimşek, A., Durgun, M., 2015, "Kahramanmaraş İmalat Sanayiindeki İş Kazazedelerinin Durumu", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Cilt 3 Sayı 3, ÖS:Ergonomi2015, 553-557.
- Sosyal Güvenlik Kurumu İş Kazası ve Meslek Hastalıkları İstatistikleri, 2016. [http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk\\_istatistik\\_yilliklari](http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari)
- TS EN 12464-1 : 2011 Standardı. Işık ve ışıklandırma - İş mahallerinin aydınlatılması. TSE. Kabul Tarihi 31 Ocak 2012.
- Uslu, V., 2014, "İşletmelerde İş Güvenliği Performansı Ve İş Güvenliği Kültürü Algılamaları Arasındaki İlişki: Eskişehir İli Metal Sektöründe Bir Araştırma", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir.

Yıldırım, İ., Akyüz, K. C., Aydın, A., Alevli, C., 2015, "Akdeniz Bölgesi Orman Ürünleri Sanayi Çalışanlarının İş Güvenliği Algılarının Belirlenmesi", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Cilt 3 Sayı 3, ÖS: Ergonomi, 213-222.





## YALIN CAMSI KARBON ELEKTROT KULLANARAK FARMASÖTİK FORMULASYON VE İNSAN İDRARINDAN KORTİZOLÜN HIZLI KARE DALGA VOLTAMETRİK ANALİZİ

Ertuğrul KESKİN

Adıyaman Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Eczacılık Temel Bilimleri Bölümü, ADIYAMAN  
[keskinertugrul@gmail.com](mailto:keskinertugrul@gmail.com)

(Geliş/Received: 11.12.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 28.01.2019)

**ÖZ:** Ticari ilaçlardan ve insan idrarından kortizolün direkt tayini için basit, hızlı ve duyarlı bir elektrokimyasal yöntem geliştirildi. Kortizolün elektrokimyasal indirgenmesi ve nicel analizleri, dönüşümlü voltametri (DV) ve kare dalga voltametri (KDV) kullanılarak yalın camsi karbon elektrot (CKE) ile Britton-Robinson tampon çözeltisinde (BRTÇ) ve pH 2,0'de gerçekleştirildi. Kortizol DV'de, tersinmez ve adsorpsiyon kontrollü bir indirgeme piki gösterdi. Adsorptif kare dalga sıyırma voltametri (Ad-KDSV) kullanıldığında bileşik BRTÇ pH 2,0 içinde ve -1,14 V'de (Ag/AgCl'ye karşı) iyi tanımlanmış bir voltametrik yanıt verdi. Deneysel sonuçlar pik akımı ile  $1-50 \mu\text{g mL}^{-1}$  ( $2,8 \times 10^{-6}$  mol L<sup>-1</sup> -  $4 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup>) derişim aralığında doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Gözlenebilirlik sınırı (GS) ve tayin alt sınırı (TAS) sırasıyla  $0,069 \mu\text{g mL}^{-1}$  ( $1,9 \times 10^{-7}$  mol L<sup>-1</sup>) ve  $0,229 \mu\text{g mL}^{-1}$  ( $6,32 \times 10^{-7}$  mol L<sup>-1</sup>) olarak saptandı. Geliştirilen yöntemin kesinliği ve doğruluğu, tablet ve idrar numunelerinden yapılan geri kazanım çalışmaları ile kontrol edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Adsorptif kare dalga sıyırma voltametri, Kortizol, Camsi karbon elektrot, Farmasötik formülasyon, İnsan İdrarı

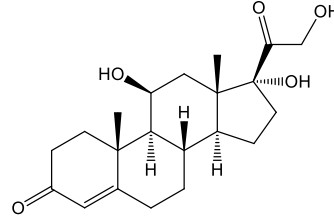
## FAST SQUARE WAVE VOLTAMMETRIC DETERMINATION OF CORTISOL IN PHARMACEUTICAL FORMULATION AND HUMAN URINE USING THE BARE GLASSY CARBON ELECTRODE

**ABSTRACT:** A simple, fast and sensitive electrochemical method for the direct determination of cortisol in commercial pharmaceutical product and human urine was developed. The electrochemical reduction and quantitative analysis of cortisol were performed in Britton Robinson Buffer Solution (BRBS, pH 2.0) with a bare glassy carbon electrode (GCE) using cyclic voltammetry (CV) and square wave voltammetry (SWV). The compound showed one irreversible and adsorption-controlled reduction peak in CV. When SWSV mode is used, the compound yielded a well-defined voltammetric response at about -1.14 V (vs. Ag/AgCl) in BRBS at pH 2.0. Experimental results revealed an excellent linear correlation between the peak current and the concentration in the range of  $1-50 \mu\text{g mL}^{-1}$  ( $2.8 \times 10^{-6}$ - $1.4 \times 10^{-4}$  mol L<sup>-1</sup>). Detection and quantification limits were found to be  $0.069 \mu\text{g mL}^{-1}$  ( $1.9 \times 10^{-7}$  mol L<sup>-1</sup>) and  $0.229 \mu\text{g mL}^{-1}$  ( $6.32 \times 10^{-7}$  mol L<sup>-1</sup>), respectively. Precision and accuracy of the developed method were checked by recovery studies in spiked tablets and urine.

**Key Words:** Adsorptive square wave stripping voltammetry, Cortisol, Glassy carbon electrode, Pharmaceutical formulation, Human urine

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kortizol (11, 17, 21-trihidroksi-4-pregnen-3, 20-dion), böbreküstü bezlerince salgılanan glukokortikoid sınıfının en önemli steroid hormonudur. İlaç olarak kullanıldığında hidrokortizon olarak da bilinen bu hormon pek çok hastalığın teşhis ve tanısında biyolojik bir ayıraç işlevindedir (Şekil 1). Bu işlevselliğini kan basıncı, glikoz düzeyi ve karbonhidrat metabolizması gibi çeşitli fizyolojik süreçleri düzenlemesinin yanında kardiyovasküler, bağışıklık, böbrek fonksiyonları, iskelet ve vücut içi dengenin korunması gibi alanlarda da gösterir (Beale ve Block, 2011; Kaushik ve diğ., 2014; Turpeinen ve Hämäläinen, 2013).



Şekil 1. Kortizolün kimyasal yapısı

Figure 1. Chemical structure of cortisol

Kortizol düzeyindeki anormal bir artış, kandaki yağ ve amino grup asit düzeylerinde artışa, inflamasyonun engellenmesine ve bağışıklık sisteminin baskılanmasına neden olur. Bunun sonucunda obezlik, yorgunluk ve kemik erimesi gibi belirtileri olan Cushing hastalığı oluşur. Kortizol düzeyindeki düşüklük ise deri pigmentleşmesinde artış, yorgunluk ve kilo kaybı belirtileriyle kendini gösteren Addison rahatsızlığına yol açar (Hammer ve Stewart, 2006; Newell-Price ve diğ., 2006; Reimondo ve diğ., 2008; Shibli-Rahhal ve diğ., 2006; Whitworth ve diğ., 1995). Bu yüzden vücuttaki kortizol düzeyinin izlenmesi insan sağlığı açısından son derece önemlidir.

Kortizol, beşeri ve hayvansal tıpta çeşitli iltihabi ve anti-alerjik sonuçların tedavisi ile birlikte depresif bozuklukların ve kronik yorgunluğun tanınal işlevinde yaygın kullanılan bir ilaçtır (Edwards ve diğ., 1974; Konieczna ve diğ., 2010). Kortizol içeren topikal kremler ise döküntülerin neden olduğu kaşıntı ve ağrının dindirilmesinde kullanılır. Dünya Anti-Doping Ajansı (WADA) 2008 yılında kortizolü yasaklı maddeler listesine eklemiş ve tedavi amaçlı kullanımı dışında sporcularda kullanımının doping olarak değerlendirileceğini bildirmiştir (Kämäräinen ve diğ., 2018).

İdrardan (Gatti ve diğ., 2005; Sánchez-Guijo ve diğ., 2014), serumdan (Canalis ve diğ., 1979; Kushnir ve diğ., 2004), tükürükten (Bigert ve diğ., 2005; Perogamvros ve diğ., 2009; Sun ve diğ., 2008; Vieira ve diğ., 2014) ve ilaçlardan (Balaji ve diğ., 2008; Goyal ve diğ., 2010) kortizol düzeylerinin belirlenebilmesi, gerek klinik uygulamalarda gerekse rutin analizlerde oldukça önemlidir. Günümüz klinik uygulamalarında, kortizol düzeyi serbest veya protein bağlı fraksiyonların toplamı olan toplam kortizol düzeyi ile ölçülmektedir. Serbest kortizol, biyolojik olarak aktif olan tek fraksiyondur ve vücuttaki tüm kortizolle ilgili faaliyetlerden sorumludur (Canalis ve diğ., 1979). Bu yüzden kortizol ile ilgili durumların teşhisi ve uygun şekilde tedavisi, serbest kortizolün düzenli olarak tahmin edilmesini gerektirir. Biyolojik örneklerden serbest kortizolün belirlenmesinde, yüksek performanslı sıvı kromatografisi (YPSK) (Hu ve diğ., 2005; Rouits ve diğ., 2003; Al Sharef ve diğ., 2007; Tang ve diğ., 2000), florimetri (Appel ve diğ., 2005), radyoimmüno test (RIA) (Lee ve Goeger, 1998), sıvı kromatografi-ardışık kütle spektrometresi (Frerichs ve Tornatore, 2004; Kushnir ve diğ., 2004; Perogamvros ve diğ., 2009) ve immünoelektrokimyasal sensörü de barındıran pek çok analitik yöntem kullanılmıştır (Sun ve diğ., 2008; Vabbina ve diğ., 2015). Bu yöntemlerin pahalı olmalarının yanı sıra karmaşık numune ön işlemleri (ön deriştirme ve/veya saflaştırma aşaması), nitelikli kullanıcı gereksinimi, kapsamlı kimyasal madde tüketimi ve uzun analiz süresi gibi dezavantajları da vardır. Elektrokimyasal yöntemler ise düşük cihaz maliyeti, işlem basitliği ve diğer analitik yöntemlere nazaran matris etkisine karşı daha düşük duyarlılığa sahip olması gibi avantajlarının yanında analizi yapılan maddenin yükseltgenme-indirgenme süreçlerini aydınlatması ile öne çıkar. Ancak kortizol analizinde elektrokimyasal

yöntemlerin kullanıldığı çok az sayıda çalışma mevcuttur. Goyal ve arkadaşları (Goyal ve diğ., 2009) fosfat tamponu pH 7,2'de kortizolün elektrokimyasal davranışlarını dönüşümlü voltametri (DV) ve kare dalga voltametri (KDV) yöntemlerini kullanarak incelemişler ve  $8,8 \times 10^{-8}$  mol L<sup>-1</sup> gözlenebilirlik sınırı (GS) düzeyine ulaşmışlardır. Geliştirdikleri bu yöntemi kortizolün ticari ilaç formülasyonunda ve gerçek numune analizinde başarılı bir şekilde kullanmışlardır. Balaji ve arkadaşları, karbon pasta elektrodu (KPE) yalın veya  $\beta$ -siklodekstrin ile modifiye ederek geliştirdikleri yöntemde DV ve diferansiyel puls voltametrisi (DPV) yardımıyla prednisolon, deksametazon ve hidrokortizonun eş zamanlı analizinde kullanmışlardır. GS olarak  $3,7 \times 10^{-7}$  mol L<sup>-1</sup> düzeyine ulaşan yöntem, farmasötik ve biyolojik sıvı örneklerinden iyi geri kazanım değerleriyle kortizolün analizinde uygulanmıştır (Balaji ve diğ., 2008). Altın nanoparçacık, çok katmanlı karbon nanotüp ve mikro ölçekteki iyonik sıvıdan oluşan kompozit pasta elektrot (AuNPs / MWCNTs / OPPF) yardımıyla kortizol ve androsteron hormonlarının voltametik tayini Morene ve ark. tarafından tanımlanmıştır (Moreno-Guzmán ve diğ., 2013). KDV yöntemi ile kortizol için oksidasyon pik akımının  $2,76 \times 10^{-10}$  mol L<sup>-1</sup> -  $2,76 \times 10^{-9}$  mol L<sup>-1</sup> derişim aralığında doğrusal olduğu ve  $4,14 \times 10^{-11}$  mol L<sup>-1</sup> GS değerine ulaşıldığı bulunmuştur. Yöntemin uygulanabilirliği sertifikalı kortizol içeren idrar ve serum örneklerinde gösterilmiştir.

Elektrokimyasal analizlerde yükseltgenme-indirgenme süreçleri büyük oranda analizlerde kullanılan elektrot materyaline bağlıdır. Karbon temelli olan elektrotlar düşük zemin akımı, yüksek akım yoğunluğu, hızlı elektron aktarımı ve geniş potansiyel penceresi gibi ayırt edici özellikleri olan yalın veya modifiye edilerek de kullanılabilen elektrot materyalleridir (Van der Linden ve Dieker, 1980; Taylor ve diğ., 2012; Yardım ve diğ., 2013).

Yapılan kaynak araştırmasında kortizolün yalın camısı karbon elektrot (CKE) üzerinde elektrokimyasal davranışlarının incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada karbon temelli elektrotlardan biri olan CKE kullanılarak kortizolün elektrokimyasal indirgenme davranışları DV yöntemiyle incelenmiş ve adsorptif kare dalga sıyırma voltametrisi (Ad-KDSV) yöntemi kullanılarak hızlı ve duyarlı elektrokimyasal bir teknik geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem ilaç formülasyonlarından ve idrardan kortizolün saptanmasında başarıyla uygulanmış ve YPSK yöntemiyle elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### Kimyasallar ve Cihazlar (Chemicals and Apparatus)

Kortizol standardı ve çalışmada kullanılan diğer kimyasallar Sigma Aldrich firmasından temin edildi. Etken maddesi kortizol olan tablet dozaj formlar, yerel ticari eczaneden tedarik edildi. Standart kortizol stok çözeltisi metanol içerisinde  $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$  olarak hazırlandı. Hazırlanan stok çözelti amber şişe içerisinde  $4^\circ\text{C}$ 'de muhafaza edildi. Daha seyreltik çözeltiler Britton-Robinson (BR) destek elektroliti (pH 2,0-9,0) ile istenilen derişim düzeyine getirildi. YPSK analizlerinde hareketli faz olarak metanol-su (60:40 v/v) karışımı kullanılarak, pH değerleri %85'lik (w/w) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile 3,0'a ayarlandı. Bütün çözeltiler  $0,45 \mu\text{m}$  membran filtreli Agilent marka vakum filtresinden geçirildi. Mobil faz içinde kortizolün  $125 \mu\text{g mL}^{-1}$  stok çözeltisi hazırlanarak tüm seyreltme işlemleri de mobil faz kullanılarak gerçekleştirildi. Bütün çözeltiler analitik saflıktaki kimyasallarla ve Milli-Q ultra saf su kullanılarak hazırlandı. DV ve Ad-KDSV ölçümleri genel amaçlı elektrokimyasal yazılıma (GPES 4,9) sahip  $\mu\text{Autolab}$  type III elektrokimyasal analizör (EcoChemie, The Netherlands) ile gerçekleştirildi. KD ham voltamogramlarına yazılım içinde bulunan Savitzky-Golay filtresi (düzey 2) ve 0,01 pik genişliğindeki zemin düzeltmesi (moving average) işlemleri uygulandı. Çalışmalar 10 mL hacimli ve üç elektrotlu hücrede gerçekleştirildi. Yardımcı elektrot olarak platin tel (MW-1032, BAS, USA), referans elektrodu olarak Ag/AgCl (3 M NaCl) (BAS Model MF-2052, USA) ve çalışma elektrodu olarak da 3 mm çapında CKE (BAS model MF-2012, USA) kullanıldı. pH ölçümleri için WTW inoLab pH 720 model pH metre kullanıldı. Kromatografik analizler 250 nm'ye ayarlı diyot dizinli dedektörlü (DAD) ve oto örnekleyicili sisteme sahip Agilent 1100 model sistemde gerçekleştirildi. Bu analizlerde Nucleosil C18 (250 mm  $\times$  4,6 mm, 5  $\mu\text{m}$ ) kolonu kullanıldı ve ölçümler dakikada 1,0 mL akış hızında gerçekleştirildi.

### **Voltametrik Yöntem (Voltammetric Procedure)**

Voltametrik ölçümler KDV yöntemi ile CKE üzerinde kortizolün biriktirilmesiyle gerçekleştirildi. Kullanım öncesi tersinir elektrot yüzeyi oluşturabilmek için her voltamogram kaydından önce CKE yüzeyine mekanik ön işlem uygulandı. Mekanik ön işlem adımında CKE saf suyla yıkanıp sonrasında suyla bulamaç haline getirilen alüminyum oksit (alümina,  $Al_2O_3$ , çapı:  $0,3 \mu m$ ) süspansiyonu üzerinde dairesel hareketler yapılarak birkaç dakika parlatıldı. Bu işlem sonrasında suyla yıkanıp, temiz ve yumuşak bir kurutma kâğıdı ile kurulandı. Mekanik ön işlem adımı sonrasında elektrot dakikada 500 devirle dönen karıştırıcının olduğu hücreye yerleştirilerek elektrotta belirli bir süre gerilim uygulandı. Bu önderiştirme adımı sonrasında karıştırma durduruldu ve tamamen hareketsizliğin sağlanması için 10 s beklendi. Bu aşamanın sonunda ise seçilen voltametrik teknikle negatif doğrultuda gerilim taraması gerçekleştirildi.

### **YPSK Yöntemi (HPLC procedure)**

Kalibrasyon eğrisi  $125 \mu g mL^{-1}$  kortizol stoğundan kolona  $1-70 \mu L$  aralığında eklenmesi ve sonrasında elde edilen kromotogramın pik alanının ölçülmesi yoluyla elde edildi (Aburuz ve diğ., 2003). Standart kortizol derişimleri çalışılan derişim aralığında doğrusal bir yanıt verdi ( $R^2 = 0,9998$ ). Tablet numunelerinin kromotografik analizleri,  $0,45 \mu m$  filtre kâğıdından filtre edildikten sonra gerçekleştirildi. Kalibrasyon eğrisi kullanılarak tabletteki kortizol içeriği hesaplandı.

### **Gerçek Numunelerin Hazırlanışı (Preparation of Real Samples)**

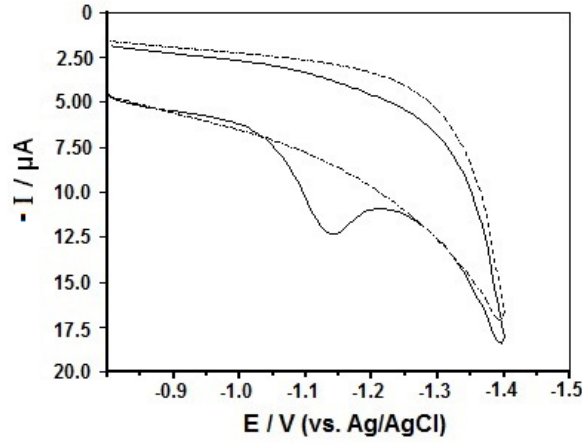
Çalışmalarda her bir tablette 10 mg hidrokortizon (kortizol) içerdiği etiketinde belirtilen Genkort® (Gen İlaç ve Sağlık Ürünleri, Türkiye) tabletleri kullanıldı. On tablet tartıldı ve her bir tabletin ortalama ağırlığı belirlendi. Sonrasında bir havan içerisinde ezilerek ince bir toz haline getirildi. Oluşan bu tozun belli bir miktarı tartıldı ve 10 mL hacmindeki balon jöjeye aktararak metanolde çözüldü. Bu çözeltiden belirli hacimlerde alınarak içinde BR destek elektrolitinin olduğu hücreye aktarıldı ve daha önceden geliştirilen yöntemle göre analizler gerçekleştirildi. Tablet içeriğindeki kortizolün miktar analizinde standart ekleme yöntemi kullanıldı. YPSK analizleri için, tabletin havadaki tozundan belli bir miktar tartılıp mobil faz içinde hazırlandı. Oluşan çözelti filtre edildi ve daha sonra YPSK cihazına enjekte edildi.

İdrar numuneleri 36 yaşında sağlıklı bir erkekten alındı. 3,0 mL idrar örneğine 1,0 mL stok kortizol çözeltisinden ( $1000 \mu g mL^{-1}$ ) eklendi. Karışım bir dakika karıştırıldı ve oluşan nihai karışımdan  $40 \mu L$  ile  $400 \mu L$  arasında değişen hacimlerde voltametrik hücreye aktararak  $1 \mu g mL^{-1}$  ile  $10 \mu g mL^{-1}$  arasında kortizol standardı içeren idrar numuneleri elde edilmiş oldu. Bağlı geri kazanım değerleri eklenen kortizol derişimleriyle karşılaştırılarak hesaplandı. Voltamogramlar kortizol için önerilen yöntemle göre kaydedildi.

## **SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)**

### **Camsı Karbon Elektrotta Kortizolün Elektrokimyasal Davranışı (Electrochemical Behaviors of Cortisol on GCE)**

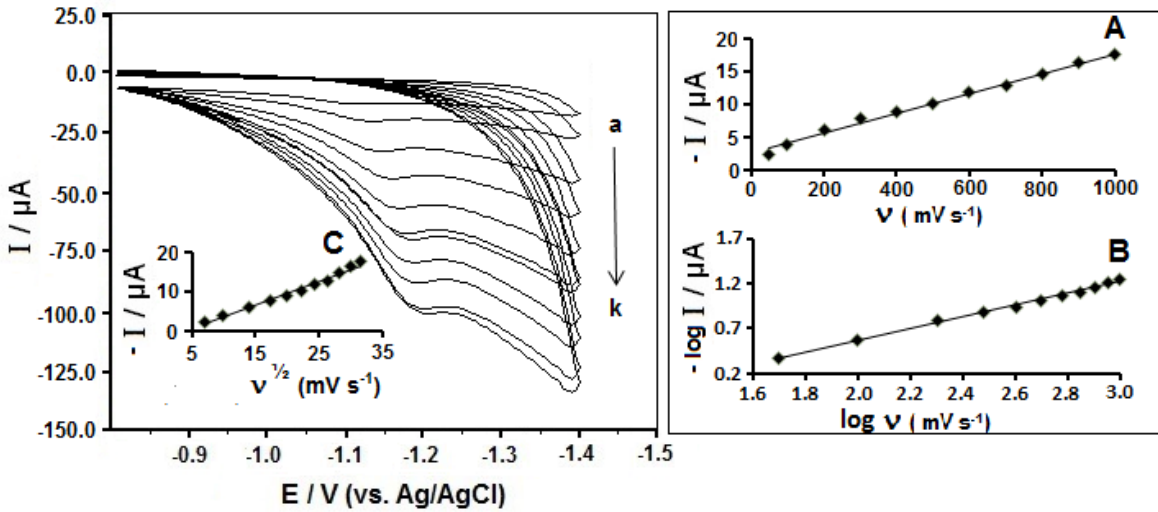
Mekanik ön işlem adımı sonrasında kortizolün elektrokimyasal davranışı DV tekniği kullanılarak incelendi. Şekil 2'de  $50 \mu g mL^{-1}$  ( $1,38 \times 10^{-4} mol L^{-1}$ ) derişimdeki kortizolün CKE üzerinde, BR pH 2,0 destek elektrolitinde ve  $100 mV s^{-1}$  tarama hızında ( $-0,8 V$  ile  $-1,5 V$  arasında) elektrokimyasal indirgenme piki görülmektedir. Şekilden negatif doğrultudaki taramada kortizolün indirgenme pikinin  $-1166 mV$  potansiyelinde gerçekleştiği ancak çalışılan gerilim aralığında ve ters yöndeki taramada ise herhangi bir yükseltgenme olayını gösteren bir pik oluşmadığı görülmektedir. Kortizolün CKE üzerindeki bu davranışı, daha önceden farklı elektrot çalışmalarındaki literatür bulgularıyla uyum içinde olduğunu göstermektedir (Balaji ve diğ., 2008; Goyal ve diğ., 2010).



**Şekil 2.** CKE üzerinde  $50 \mu\text{g mL}^{-1}$  ( $1,38 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ) kortizolün  $100 \text{ mV s}^{-1}$  tarama hızında ve BRTÇ pH 2,0 destek elektrolitindeki DV'si. Kesikli çizgi: destek elektroliti

*Figure 2.* CV curves of  $50 \mu\text{g mL}^{-1}$  for cortisol at GCE electrode. Electrode, GCE; supporting electrolyte, BRBS (pH 2.0); scan rate:  $100 \text{ mV s}^{-1}$ ; Dashed lines represent background current

Gerilim tarama hızının ( $v$ ), CKE üzerinde kortizolün indirgenme piki yüksekliğine ( $I_p$ ) etkisi yine DV yöntemi ile incelendi (Şekil 3).  $50$ - $1000 \text{ mV s}^{-1}$  aralığında değişen gerilim tarama hızlarında kortizolün voltamogramları kaydedildi. Pik akımı yükseklikleri ile gerilim tarama hızlarının değişiminin (Eşitlik 1) ve pik akımı yüksekliklerinin logaritması ( $\log I_p$ ) ile tarama hızlarının logaritmasının ( $\log v$ ) değişiminin doğrusal olduğu bulundu (Eşitlik 2). Ancak pik akımı yükseklikleri ile gerilim tarama hızlarının karekökü değişiminde bu doğrusallıktan uzaklaşıldığı gözlemlendi (Eşitlik 3).



**Şekil 3.** CKE'de ve BRTÇ içinde  $50 \mu\text{g mL}^{-1}$  kortizolün ; (a) 50, (b) 100, (c) 200, (d) 300, (e) 400, (f) 500, (g) 600, (h) 700, (i) 800, (j) 900 ve (k)  $1000 \text{ mV s}^{-1}$  tarama hızlarındaki DV'leri. (A) Pik akımına karşı tarama hızı değişimi. (B) Pik akımının logaritmasına karşı tarama hızının logaritmasının değişimi. (C) Pik akımına karşı tarama hızının karekökünün değişimi.

*Figure 3.* CVs of  $50 \mu\text{g mL}^{-1}$  cortisol in BR buffer solution (pH 2.0) at GCE for series of scan rates ( $v$ ): (a) 50, (b) 100, (c) 200, (d) 300, (e) 400, (f) 500, (g) 600, (h) 700, (i) 800, (j) 900 ve (k)  $1000 \text{ mV s}^{-1}$ . (A) Variation of peak current vs. scan rate. (B) Variation of the logarithm of peak current vs. the logarithm of scan rate. (C) Variation of peak current vs. the square root of scan rate.

Yine ikinci eşitliğin eğiminin  $0,7$  civarında olması ( $0,659$ ) elektrot üzerindeki akımın adsorbsiyon kontrollü olduğunu göstermektedir (Abdel Gaber ve diğ., 2017; Laviron ve diğ., 1980). İlgili eşitlikler aşağıda gösterilmiştir (Eşitlik (1)-(2)-(3)).

$$I_p (\mu A) = -0,015v (mVs^{-1}) - 2,428 \quad (R^2 = 0,9917) \quad (1)$$

$$\log I_p (\mu A) = -0,659 \log v + 0,753 \quad (R^2 = 0,9966) \quad (2)$$

$$I_p (\mu A) = -0,602\sqrt{v} + 2,577 \quad (R^2 = 0,9839) \quad (3)$$

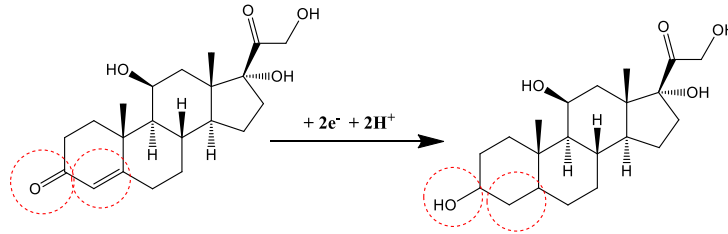
Tarama hızı artışı ile pik potansiyellerinin daha negatif değerlere doğru kaymasının yarı tersinir ve tersinmez sistemlerin tipik davranışları olduğu bilinmektedir (Sochr ve diğ., 2014). Kortizolün pik potansiyellerinin tarama hızının logaritması ile değişimi ilişkisi Eşitlik (4)'te gösterilmiştir.

$$E_p (V) = -0,0566 \log v (mV s^{-1}) - 1,0076 \quad (R^2 = 0,958) \quad (4)$$

Laviron Eşitliği'nin en genel ifadesi olan Eşitlik (5), Eşitlik (4) ile karşılaştırıldığında;

$$E_p = E^0 + (2,303RT/anF) \log(RT\kappa^0/anF) + (2,303RT/anF) \log v \quad (5)$$

Eşitlikteki  $\alpha$ , yük aktarım katsayısı ve n, alınıp verilen elektron sayısıdır. R (8,314 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>), T (298 K) ve F (96480 C mol<sup>-1</sup>) ise bilinen sabitlerdir. Ep - logv ilişkisindeki eğim değeri -0,0566 'dır. Yukarıdaki eşitlik kullanılarak  $\alpha n$  değeri -1,044 olarak hesaplandı. Tam-tersinmez elektrot olayında pekçok sistem için,  $\alpha = 0,5$  olarak kabul edilebilir. Böylece, n = 2,089 ( $\approx 2$ ) değeri elde edilir. Bu değer, CKE yüzeyinde tersinmez olarak yürüyen kortizol bileşiğinin indirgenmesinde, her molekül için 2 elektron aktarıldığını göstermektedir. Bu bilgiler ışığında kortizol için olası indirgenme mekanizması Şekil 4'te gösterilmiştir.

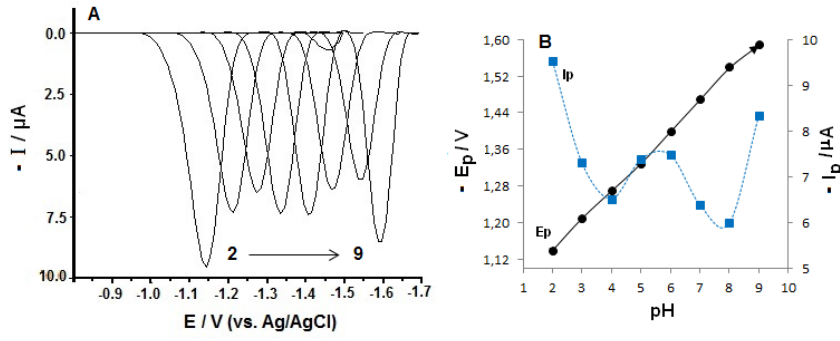


Şekil 4. Kortizol için önerilen elektrokimyasal indirgenme mekanizması

Figure 4. The electrochemical reduction mechanism for cortisol

#### Destek Elektroliti ve pH'nin Elektrokimyasal Yanıt Etkisi (Effect of Support Electrolyte and pH To Electrochemical Response)

Kortizolün elektrokimyasal yanıtı üzerinde BR, asetat ve fosfat gibi farklı destek elektrolitlerinin etkileri pH 2,0'dan pH 7,0'a Ad-KDSV yöntemi ile incelendi. En düşük zemin akımının yanı sıra, tekrarlanabilirlik özelliği, pik morfolojisi ve yüksekliği açısından da en iyi sonuçlar BR desteğinde elde edildiğinden dolayı kortizol analizi için çalışmanın devamında BR desteği kullanılmıştır. Ortam pH'sinin elektrokimyasal yanıt üzerindeki etkisi ise BR pH 2,0 ile pH 9,0 arasında incelenmiştir (Şekil 5A). Kortizol pikinin pH'ye bağlı değişimi, pH'nin bazik bölgeye kaydıca piklerin de daha negatif gerilim bölgelerine kaydığı hem ilgili voltamogram şekillerinden hem de kaymadaki değişimin incelendiği Şekil.5B'den açıkça anlaşılmaktadır. pH değişimi ile gerilimdeki kayma ilişkisinin ( pH 2,0 ve 9,0 arası ) Ep (mV) = -65,1 pH - 1010,6 (r = 0,999) eşitliğiyle gösterilen doğrusal bir eşitliğe sahip olduğu bulunmuştur. Bu doğrunun eğiminin 59 mV değeri civarında olması (çalışmamızda 65,1 bulunmuştur) elektrot reaksiyonuna katılan proton ve elektron sayılarının eşit olduğunu göstermektedir (Materon ve diğ., 2018). En yüksek ve en iyi pik morfolojisine BRTÇ pH 2,0 ortamında ulaşıldığından çalışmaların devamının BRTÇ ortamında ve pH 2,0 de yapılmasına karar verildi.



**Şekil 5.** (A) Açık devre geriliminde ve 60 s biriktirme uygulayarak 5 µg mL<sup>-1</sup> kortizolün BRTC ortamında ve farklı pH'lerindeki (2-9) KDV'leri. (B) Farklı pH'ler üzerinde pik yüksekliği ve pik geriliminin değişimi. KDV koşulları: frekans: 50 Hz; puls genliği 40 mV, gerilim adımı 10 mV

*Figure 5.* SWVs of 5 µg mL<sup>-1</sup> cortisol at various pH (2-9) of BRBS on GCE with accumulation time 60 s, at open circuit condition. The effect of pH on the peak current (Ip) and peak potential (Ep) of cortisol appears in graphs A and B, respectively. SWV conditions: frequency, 50 Hz; scan increment, 10 mV; pulse amplitude, 40 mV

### Biriktirme Değişkenlerinin Etkisi (Effect of Deposition Variables)

DV yöntemiyle elektrot üzerindeki akımın adsorptif karakterli olduğunun belirlenmesi sonrasında voltametrik analizlerin belirli bir gerilimi belirli bir süre boyunca uygulayarak elektrokimyasal yanıtın artırılacağı söylenebilir. Ancak en iyi yanıtın hangi biriktirme süresinde ve hangi potansiyelde olduğunun belirlenmesi için optimize edilmesi gerekir. Bu değişkenler optimize edilirken bir tanesi sabit tutulurken diğer değerler değiştirilir ve en iyi yanıtın alındığı değer saptanır. Kortizolün pik akımı üzerine biriktirme süresi optimizasyonu, BR pH 2,0 desteğinde, 1 µg mL<sup>-1</sup> ( $2,8 \times 10^{-6}$  mol L<sup>-1</sup>) kortizol derişiminde, hücre dakikada 500 devirle dönerken ve sisteme açık devre gerilimi uygulanırken, 0-300 s arasında KDV yöntemiyle incelendi. Pik süresi arttıkça pik akımı da yükseldi. En yüksek pik akımına 60 s de ulaşıldı. Bu süreden sonra elektrot üzerinde biriken kortizol miktarı ve pik şiddeti de azalmaya başladı. Hem analiz süresinin kısa olması hem de en iyi doygunluk değerine 60 s de erişmesi nedeniyle optimum biriktirme süresi 60 s olarak belirlendi.

Biriktirme gerilimi etkisi KDV yöntemiyle ya açık devrede veya -0,2 V ile -1,0 V aralığında, 60 s biriktirme süresinin bu süre ve gerilimler boyunca karıştırıldığı hücrede incelendi. En yüksek ve düzgün pik şekli açık devre geriliminde elde edildiğinden çalışmanın devamı açık devre gerilimi ve 60 s biriktirme süresi uygulanarak gerçekleştirildi.

### Aletsel Değişkenlerin Etkisi (Effect of Instrumental Parameters)

Voltametrik yöntemlerde aletin verdiği yanıtlar, gerek kullanılan yazılımla gerekse aletin sinyal değişkenleri ile önemli oranda değişebilir. Bu nedenle aletin yazılım parametreleri optimize edilerek indirgenme pik akımı ve pikin şeklinde iyileştirmeler sağlanabilir. Bu etkiyi incelemek adına 1 µg mL<sup>-1</sup> ( $2,8 \times 10^{-6}$  mol L<sup>-1</sup>) kortizol derişimi içeren BR pH 2,0 ortamında çözeltinin karıştırılarak ve optimum biriktirme değişkenleri uygulanarak frekans ( $f = 25-100$  Hz aralığında), puls genliği ( $E_{sw} = 30-100$  mV aralığında) ve gerilim adımı ( $\Delta E_s = 8-14$  mV aralığında) gibi önemli KDV değişkenlerinin yanıtı olan etkileri incelendi. Bu işlemler, incelenen değişken değiştirilirken diğer değişkenler sabit tutularak ve en iyi yanıtın elde edildiği değer seçilmesi yoluyla gerçekleştirildi. Aynı işlemler sırasıyla diğer değişkenler için de uygulandı ve en iyi yanıtın elde edildiği değerler belirlendi. En iyi pik yüksekliği ve morfolojisi, frekansın 75 Hz, puls genliğinin 60 mV ve gerilim adımının 10 mV olduğu değerler ile elde edildi. Bu yüzden çalışmanın devamı optimize edilen bu aletsel değerler kullanılarak yapıldı. Derişim etkisine kadar optimize edilen değerler Çizelge 1'de özetlenmiştir.

**Çizelge 1.** Ad-KDSV yöntemiyle kortizol için optimize edilen değişkenler.

*Table 1. Optimized parameters for cortisol with Ad-SWSV method*

Değişkenler	Bulgular
Destek Elektroliti	BR
pH	2,0
Biriktirme Süresi	60 s
Biriktirme Gerilimi	Açık devre
Aletsel Değişkenler	
a) Frekans	75 Hz
b) Puls Genliği, $E_{sw}$	60 mV
c) Gerilim Adımı, $\Delta E_s$	10 mV

### Kortizol Derişiminin Etkisi (Influence of Cortisol Concentration)

Geliştirilen yöntemin optimize edilen değerlerinde kortizol için dinamik çalışma aralığı, GS ve TAS farklı derişimlerin pik akımıyla ilişkisi temelinde incelendi. Kortizol,  $1 \mu\text{g mL}^{-1}$  ile  $50 \mu\text{g mL}^{-1}$  derişim aralığında ve  $-1,12 \text{ V}$  gerilim değerinde;

$$I_p (\mu\text{A}) = -0,5689C(\mu\text{g mL}^{-1}) - 11,378 \quad (r = 0,998) \quad (6)$$

eşitliğiyle ifade edilen doğrusal bir artış gösterdi (Eşitlik 6).

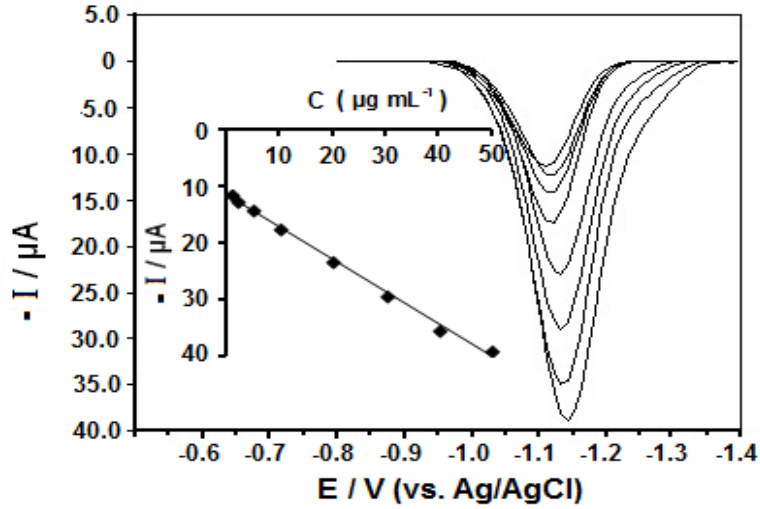
Yöntemin analitik duyarlılığı GS, 3 s/m oranından, TAS ise 10 s/m oranından hesaplanmıştır (Harisha ve diğ., 2019). Orandaki "s", destek elektroliti çözeltisinin zemin çizgisinde okunabilen en küçük altı sinyal gürültüsünün standart sapması, "m" ise kalibrasyon eğrisinin eğimidir. GS ve TAS değerleri sırasıyla  $0,069 \mu\text{g mL}^{-1}$  ( $1,9 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$ ) ve  $0,229 \mu\text{g mL}^{-1}$  ( $6,32 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$ ) bulunmuştur. Geliştirilen bu yöntemin kortizolün literatürdeki elektrokimyasal analiz yöntemlerini tamamlayan ve hatta yalın elektrot kullanımı ile hız açısından alternatif bir yaklaşım geliştirdiği söylenilebilir (Çizelge 2). Yalın elektrotlarla çalışırken ortamdaki maddelerin elektrot yüzeyini kirletip duyarlılığı ve doğruluğu azaltıcı bir etkisi olduğu ancak elektrot yüzeyinde yapılacak modifikasyonun da uzun ve zahmetli bir takım süreçleri gerektirdiği bilinmektedir (Kozub ve diğ., 2010).  $\beta$ -siklodekstrin modifiye elektrotun kullanıldığı ilk yöntem, bu çalışmada gerçekleştirilen duyarlılıktan daha düşük bir duyarlılığa sahipken diğer iki yöntemin ise daha iyi bir duyarlılığa sahip olduğu görülmektedir. Ancak bu yöntemlerin ise elektrot hazırlama süreçleri açısından CKE'ye göre daha zahmetli olduğu söylenebilir. Yalın CKE ile hızlı, ekonomik ve tatmin edici bir duyarlılığa ulaşan bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen yöntemin kesinliği  $5 \mu\text{g mL}^{-1}$  ( $1,4 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ ) derişimdeki kortizolün gün içi ( $n=10$ , Şekil 7) ve günler arası ( $n=5$ ) tekraredilebilirliği yapılarak test edildi. Gün içi bağıl standart sapma 2,45 günler arası 4,23 değeri elde edildi.

**Çizelge 2.** Kortizol tayininde önerilen yöntemle literatürdeki yöntemlerin karşılaştırılması

*Table 2. Comparison between the previous literature methods for the determination of cortisol with the proposed method*

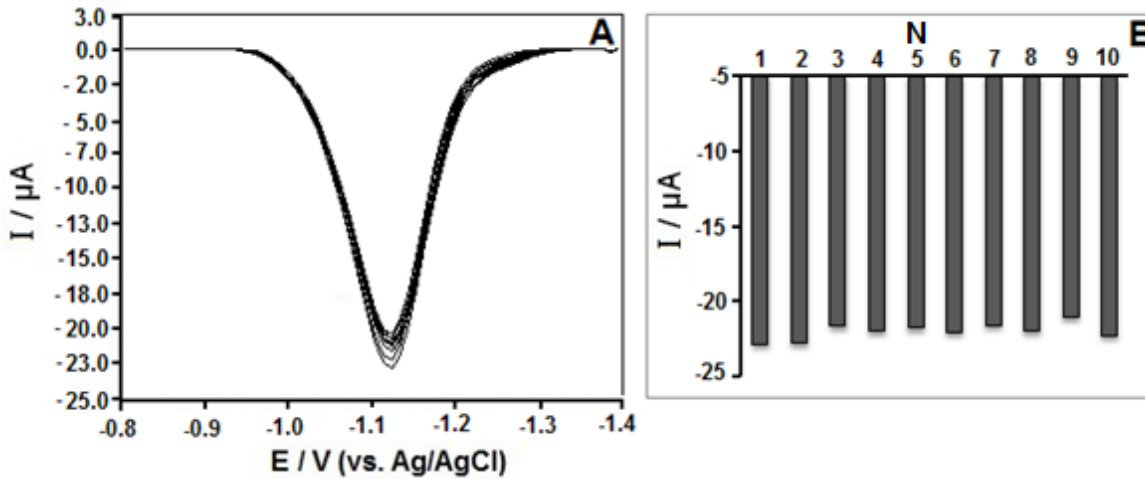
Elektrot	Yöntem	Doğrusal Aralık	GS	Kaynak
$\beta$ -Siklodekstrin modifiye elektrot	DPV	$4,0 \times 10^{-6} \text{ M} - 2,0 \times 10^{-5} \text{ M}$	$3,7 \times 10^{-7}$	(Balaji ve diğ., 2008)
EPPGE	KDV	$1,0 \times 10^{-7} \text{ M} - 2,0 \times 10^{-6} \text{ M}$	$8,8 \times 10^{-8} \text{ M}$	(Goyal ve diğ., 2010)
Civa Film	Ad-DPV	$2,0 \times 10^{-8} \text{ M} - 1,2 \times 10^{-6} \text{ M}$	$4,8 \times 10^{-9} \text{ M}$	(Smajdor ve diğ., 2015)
CKE	Ad-KDSV	$2,8 \times 10^{-6} \text{ M} - 1,4 \times 10^{-4} \text{ M}$	$1,9 \times 10^{-7} \text{ M}$	Bu çalışma





**Şekil 6.** BR pH 2,0'da CKE'de kortizolün değişen derişimlerine ( $1 \mu g mL^{-1}$  -  $50 \mu g mL^{-1}$ ) karşılık elde edilen Ad-KDSV'leri. Ad-KDSV koşulları: frekans, 75 Hz; puls genliği, 60 mV; gerilim adımı, 10 mV; biriktirme süresi, 60 s; biriktirme gerilimi, açık devre.

*Figure 6.* Ad-SWSVs obtained for cortisol at varying concentrations ( $1 \mu g mL^{-1}$  -  $50 \mu g mL^{-1}$ ) at the GCE electrode in 0.1 M BR pH 2.0. Ad-SWSV conditions: frequency, 75 Hz; scan increment 10 mV, pulse amplitude, 60 mV; accumulation time, 60 s; accumulation potential, open circuit.



**Şekil 7.** (A).  $5 \mu g mL^{-1}$  kortizolün gün içi tekraredilebilirliği (N=10) için Ad-KDSV'leri (B) Her tekrar için ölçülen akım değerlerinin değişimi. Ad-KDSV koşulları şekil 6 ile aynıdır.

*Figure 7.* Ad-SWSV voltammograms for intraday repeatability of  $5 \mu g mL^{-1}$  cortisol (N=10). (B) Change of measured peak current values for each experiment (N). Ad-SWSV parameters as indicated in Fig. 6.

#### Gerçek Numune Analizleri (Real Sample Analysis)

Elde edilen bulgular ışığında geliştirilen Ad-KDSV yöntemi film kaplı tablet dozaj formlarına herhangi bir numune ekstraksiyonu veya filtrasyon uygulanmadan yeterli seyreltme işlemi uygulandıktan sonra ilgili kalibrasyon eğrisinde yerine konularak miktar analizleri gerçekleştirildi. Ağz yoluyla alınan her bir tablet için etiket bilgilerinde aktif bileşen olarak 10,0 mg kortizol ve inaktif bileşen olarak laktoz, mikrokristal selüloz monohidrat, sodyum nişasta glikolat, povidon, polisorbitat 80, magnezyum stearat ve eritrosin E127 içerdiği bildirilmiştir. Geliştirilen yöntem ile ticari tablet

analizlerinde kortizolün analizi başarıyla uygulandı. Yöntemle hesaplanan değerlerin etikette iddia edilen değerlerle örtüştüğü gözlemlendi.

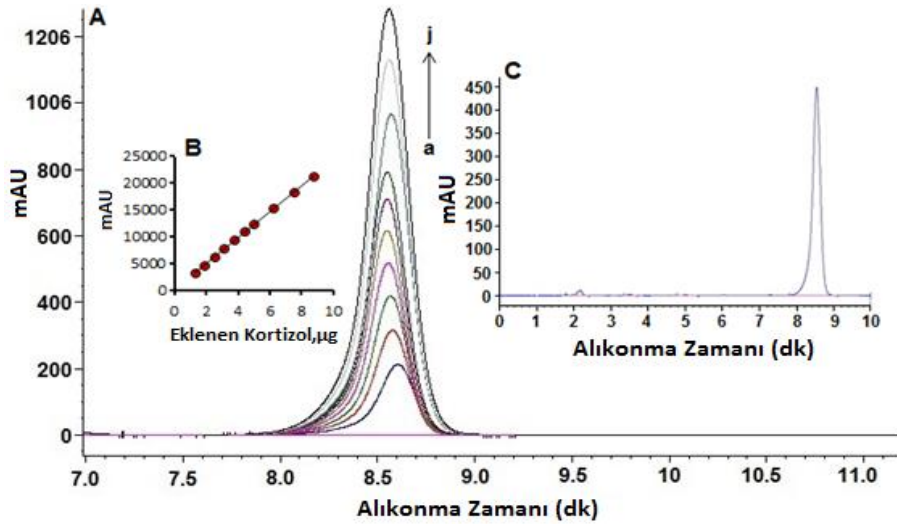
Verilen bir matris içerisinde ilgili analitin geri kazanımı, yöntemin doğruluğunun ölçülmesinde kullanılabilir. Bunu test etmek ve ilahtaki katkı maddelerinin herhangi bir girişim oluşturmadığını test etmek için geri kazanım çalışmaları standart ekleme yöntemiyle gerçekleştirildi. Geri kazanım değerleri %97,27 ile %100,44 arasında bulundu.

#### Elektrokimyasal yöntemin YPSK yöntemiyle karşılaştırılması (Comparison of Electrochemical Method with HPLC Methods)

Yapılan analizlerin güvenilirliğini kanıtlamak için voltametrik analizlerden elde edilen veriler YPSK yönteminden elde edilen verilerle mukayese edildi. Bunun için ilaç numunesindeki derişimi kapsayacak şekilde kortizol standartlarından on farklı derişimde çözeltiler hazırlandı ve gözlenen pik alanlarına karşı derişimler grafiğe geçirildi (Şekil 8). Derişimlerle pik alanları arasında

$$y = 2410,8x + 270,21 (R^2 = 0,9998) \quad (7)$$

doğrusal eşitliğine uyan bir ilişki bulundu (Eşitlik 7). Eşitlikteki "y" pik alanı, "x" ise derişimi göstermektedir. Şekil.8C tabletteki kortizolün karakteristik alıkonma zamanındaki (8,537 dk) kromotogramını göstermektedir.



Şekil 8. Standart çözeltili kromotogramları (A) ve pik alanı ile farklı derişimlerdeki kortizol arasındaki doğrusal ilişki (B) "a" dan "j"ye sırayla 1,25 µg, 1,87 µg, 2,5 µg, 3,125 µg, 3,75 µg, 4,375 µg, 5,0 µg, 6,25 µg, 7,5 µg ve 8,75 µg. Tabletteki kortizolün karakteristik kromotogramı (C) kromotografik koşullar:

Mobil faz; metanol-su (60:40, v/v), akış hızı; 1 mL dk<sup>-1</sup>

Figure 8. The standard solution chromatograms (A) and calibration plot of cortisol at different concentrations (B). The letters a- j correspond to 1.25 µg, 1.87 µg, 2.5 µg, 3.125 µg, 3.75 µg, 4.375 µg, 5.0 µg, 6.5 µg, 7.5 µg and 8.75 µg. (C) Typical chromatogram of cortisol in pharmaceutical drug form. Chromatographic conditions: Mobile Phase; methanol- water (60:40, v/v), flow rate; 1 mL min<sup>-1</sup>

Tabletteki kortizol içeriği 250 nm deki YPSK kromotogramından belirlendi ve tabletin bir gramında bulunan mikrogram kortizol (µg kortizol/g tablet) olarak ifade edildi. Çizelge 3'te gösterildiği gibi önerilen KDV yöntemi ile elde edilen sonuçların ortalaması ile YPSK'den elde edilen değerlerin ortalamaları arasında %5 güven seviyesinde anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

**Çizelge 3.** Ad-KDSV ve YPSK yöntemleriyle elde edilen tablet içeriğindeki kortizol miktarlarının karşılaştırılması

*Table 3. Comparison of cortisol content of tablet obtained by Ad-SWSV and HPLC methods*

<b>İddia Edilen (her tabletteki, mg)</b>	<b>Ad-KDSV ± SS (n=3)</b>	<b>YPSK ± SS (n=3)</b>
10	9,96 ± 0,21	10,20 ± 0,13

Geliştirilen yöntemin kortizolün idrardan tayin edilmesine dönük bir analizde kullanılabilirliği de test edildi. Bunun için standart kortizol çözeltilerinden artan derişimlerde idrara eklemeler yapıldı. Matris etkisini elimine etmek amacıyla işlemlerde standart ekleme yöntemi kullanıldı. Geri kazanım değerleri (%95,99'den %110,31'e değişen) geliştirilen yöntemin yeterli doğruluğa sahip olduğunu ve analiz edilen numunelerde dikkate almayı gerektirecek önemli bir girişim etkisinin olmadığını göstermektedir (Çizelge 4). Bu nedenle geliştirilen yöntemin idrardan kortizol derişiminin nicel olarak belirlenmesinde de kullanılabilereği anlaşılmıştır.

**Çizelge 4.** İdrar numunelerindeki kortizolün ölçüm sonuçları

*Table 4. Measurement results of cortisol in urine samples*

<b>Eklenen ( µg mL<sup>-1</sup> )</b>	<b>Bulunan ( µg mL<sup>-1</sup> )</b>	<b>Geri kazanım (%)</b>
1,00	0,97	96,75
1,50	1,44	95,99
2,50	2,42	96,84
5,00	5,52	110,31
10,00	9,79	97,87

## SONUÇ

Bu makalede kortizolün doğrudan analizinde yalın ve mekanik olarak işlem görmüş CKE'nin duyarlı bir elektrokimyasal sensör gibi kullanımı gerçekleştirilmiştir. Kortizolün elektrokimyasal davranışı ve miktar analizi sırasıyla DV ve Ad-KDSV yöntemleriyle yürütülmüştür. Önerilen analitiksel yöntem varolan kromatografik yöntemlere göre daha basit, daha hızlı ve daha ekonomiktir. Yöntemle 0,069 µg mL<sup>-1</sup> (1,9×10<sup>-7</sup> mol L<sup>-1</sup>) düzeyine erişen bir GS'ye ulaşılmıştır. Geliştirilen elektrokimyasal yöntemin uygulanabilirliği ticari tablet analizlerinde ve idrar numunelerinde başarıyla gösterilmiştir. Elektrokimyasal yöntemle elde edilen veriler diyot dizinli dedektöre sahip YPSK ile elde edilen verilere karşılaştırılmış ve iki yöntemin de aralarında iyi bir uyum olduğu gösterilmiştir. Yalın CKE'de kortizolün hızlı ve duyarlı analiz edilebilmesi klinik ve tanusal amaçla diğer yöntemlere alternatif olabileceğini kanıtlamıştır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abdel Gaber, A.A., Ahmed, S.A., Abdel Rahim, A.M.,2017, "Cathodic adsorptive stripping voltammetric determination of Ribavirin in pharmaceutical dosage form, urine and serum", *Arabian Journal of Chemistry*, King Saud University, Cilt 10, ss.S2175–S2181.
- Aburuz, S., Millership, J., Heaney, L., Mcelnay, J.,2003, "Simple liquid chromatography method for the rapid simultaneous determination of prednisolone and cortisol in plasma and urine using hydrophilic lipophilic balanced solid phase extraction cartridges", Cilt 798, ss.193–201.
- Al Sharef, O., Feely, J., Kavanagh, P., Scott, K., Sharma, S.,2007, "An HPLC method for the determination of the free cortisol / cortisone ratio in human urine", *Biomedical Chromatography*, Cilt 21, ss.1201–1206.
- Appel, D., Schmid, R.D., Dragan, C.A., Bureik, M., Urlacher, V.B.,2005, "A fluorimetric assay for cortisol", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, Cilt 383, Sayı 2, ss.182–186.
- Balaji, K., Reddy, G.V.R., Reddy, T.M. and Reddy, S.J.,2008, "Determination of prednisolone , dexamethasone and hydrocortisone in pharmaceutical formulations and biological fluid samples

- by voltammetric techniques using  $\beta$ -cyclodextrin modified carbon paste electrode", *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, Cilt 2, Sayı 8, ss.157–166.
- Beale, J.M., Block, J.H., 2011, *Wilson and Gisvold's Textbook of Organic, Medicinal and Pharmaceutical Chemistry*, edited by Troy, D.B., Twelfth Ed., Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- Bigert, C., Bluhm, G., Theorell, T., 2005, "Saliva cortisol - A new approach in noise research to study stress effects", *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Cilt 208, Sayı 3, ss.227–230.
- Canalis, E., Caldarella, A.M., Reardon, G.E., 1979, "Serum Cortisol and 11-Deoxycortisol by Liquid Chromatography: Clinical Studies and Comparison with Radioimmunoassay", *Clinical Chemistry*, Cilt 25, Sayı 10, ss.1700–1703.
- Edwards, O.M., Galley, J.M., Courtenay-Evans, R.J., Hunter, J., Tait, A.D., 1974, "Changes in Cortisol Metabolism Following Rifampicin Therapy", *The Lancet*, Cilt 304, Sayı 7880, ss.549–551.
- Frerichs, V.A., Tornatore, K.M., 2004, "Determination of the glucocorticoids prednisone, prednisolone, dexamethasone, and cortisol in human serum using liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry", *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, Cilt 802, Sayı 2, ss.329–338.
- Gatti, R., Cappellin, E., Zecchin, B., Antonelli, G., Spinella, P., Mantero, F., De Palo, E.F., 2005, "Urinary high performance reverse phase chromatography cortisol and cortisone analyses before and at the end of a race in elite cyclists", *Journal of Chromatography B*, Cilt 824, Sayı 1–2, ss.51–56.
- Goyal, R.N., Chatterjee, S., Rana, A.R.S., 2010, "A comparison of edge- and basal-plane pyrolytic graphite electrodes towards the sensitive determination of hydrocortisone", *Talanta*, Elsevier B.V., Cilt 83, Sayı 1, ss.149–155.
- Goyal, R.N., Gupta, V.K., Chatterjee, S., 2009, "A sensitive voltammetric sensor for determination of synthetic corticosteroid triamcinolone, abused for doping", *Biosensors and Bioelectronics*, Cilt 24, Sayı 12, ss.3562–3568.
- Hammer, F., Stewart, P.M., 2006, "Cortisol metabolism in hypertension", *Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism*, Cilt 20, Sayı 3, ss.337–353.
- Harisha, K. v., Swamy, B. e. K., Ganesh, P. s., Jayadevappa, H., 2019, "Electrochemical oxidation of haematoxylin at poly(alanine) modified carbon paste electrode: A cyclic voltammetric study", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Elsevier, Cilt 832, Sayı June 2018, ss.486–492.
- Hu, Z., Gong, Q., Hu, X., Wang, L., Cao, Y., Cao, W., Yu, Q., et al., 2005, "Simultaneous determination of 6B-hydroxycortisol and cortisol in human urine and plasma by liquid chromatography with ultraviolet absorbance detection for phenotyping the CYP3A activity", *Journal of Chromatography B*, Cilt 826, Sayı 1–2, ss.238–243.
- Kämäräinen, S., Mäki, M., Tolonen, T., Palleschi, G., Virtanen, V., Micheli, L., Sesay, A.M., 2018, "Disposable electrochemical immunosensor for cortisol determination in human saliva", *Talanta*, Elsevier B.V., Cilt 188, ss.50–57.
- Kaushik, A., Vasudev, A., Arya, S.K., Pasha, S.K., Bhansali, S., 2014, "Recent advances in cortisol sensing technologies for point-of-care application", *Biosensors and Bioelectronics*, Elsevier, Cilt 53, ss.499–512.
- Konieczna, L., Plenis, A., Oldzka, I., Kowalski, P., Bączek, T., 2010, "Simultaneous determination of cortisol, cortisone, and corticosterone in human plasma of parachutists in view of pharmacokinetic studies", *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*, Cilt 33, Sayı 18, ss.1613–1629.
- Kozub, B.R., Rees, N. V., Compton, R.G., 2010, "Electrochemical determination of nitrite at a bare glassy carbon electrode; why chemically modify electrodes?", *Sensors and Actuators, B: Chemical*, Cilt 143, Sayı 2, ss.539–546.
- Kushnir, M.M., Neilson, R., Roberts, W.L., Rockwood, A.L., 2004, "Cortisol and cortisone analysis in serum and plasma by atmospheric pressure photoionization tandem mass spectrometry", *Clinical Biochemistry*, Cilt 37, Sayı 5, ss.357–362.
- Laviron, E., Roullier, L., Degrand, C., 1980, "A multilayer model for the study of space distributed redox modified electrodes. Part II. Theory and application of linear potential sweep voltammetry for a simple reaction", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Cilt 112, Sayı 1, ss.11–23.

- Lee, C., Goeger, D.E.,1998, "Interference of 6Beta-hydroxycortisol in the quantitation of urinary free cortisol by immunoassay and its elimination by solid phase extraction", *Clinical Biochemistry*, Cilt 31, Sayı 4, ss.229–233.
- Materon, E.M., Wong, A., Fatibello-Filho, O., Faria, R.C.,2018, "Development of a simple electrochemical sensor for the simultaneous detection of anticancer drugs", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Elsevier, Cilt 827, Sayı August, ss.64–72.
- Moreno-Guzmán, M., Agüí, L., González-Cortés, A., Yáñez-Sedeño, P., Pingarrón, J.M.,2013, "Gold nanoparticles/carbon nanotubes/ionic liquid microsized paste electrode for the determination of cortisol and androsterone hormones", *Journal of Solid State Electrochemistry*, Cilt 17, Sayı 6, ss.1591–1599.
- Newell-Price, J., Bertagna, X., Grossman, A.B., Nieman, L.K.,2006, "Cushing's syndrome", *Lancet*, Cilt 367, Sayı 9522, ss.1605–1617.
- Perogamvros, I., Owen, L.J., Newell-Price, J., Ray, D.W., Trainer, P.J., Keevil, B.G.,2009, "Simultaneous measurement of cortisol and cortisone in human saliva using liquid chromatography-tandem mass spectrometry: Application in basal and stimulated conditions", *Journal of Chromatography B*, Cilt 877, Sayı 29, ss.3771–3775.
- Reimondo, G., Pia, A., Bovio, S., Allasino, B., Daffara, F., Paccotti, P., Borretta, G., et al.,2008, "Laboratory differentiation of Cushing's syndrome", *Clinica Chimica Acta*, Cilt 388, Sayı 1–2, ss.5–14.
- Rouits, E., Boisdron-Celle, M., Morel, A., Gamelin, E.,2003, "Simple and sensitive high-performance liquid chromatography method for simultaneous determination of urinary free cortisol and 6beta-hydroxycortisol in routine practice. For CYP 3A4 activity evaluation in basal conditions and after grapefruit juice intake", *Journal of Chromatography B*, Cilt 793, Sayı 2, ss.357–366.
- Sánchez-Guijo, A., Hartmann, M.F., Shi, L., Remer, T., Wudy, S.A.,2014, "Determination of free cortisol and free cortisone in human urine by on-line turbulent flow chromatography coupled to fused-core chromatography-tandem mass spectrometry (TFC-HPLC-MS/MS)", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, Cilt 406, Sayı 3, ss.793–801.
- Shibli-Rahhal, A., Van Beek, M., Schlechte, J.A.,2006, "Cushing's syndrome", *Clinics in Dermatology*, Cilt 24, Sayı 4, ss.260–265.
- Smajdor, J., Piech, R., Rumin, M., Paczosa-Bator, B.,2015, "New high sensitive hydrocortisone determination by means of adsorptive stripping voltammetry on renewable mercury film silver based electrode", *Electrochimica Acta*, Elsevier Ltd, Cilt 182, ss.67–72.
- Sochr, J., Cinkova, K., Svorc, L.,2014, "Electrochemical Behaviour Study and Sensitive Determination of Dopamine on Cathodically Pretreated", *Austin J Anal Pharm Chem.*, Cilt 1, Sayı 1, ss.1–7.
- Sun, K., Ramgir, N., Bhansali, S.,2008, "An immunoelectrochemical sensor for salivary cortisol measurement", *Sensors and Actuators, B: Chemical*, Cilt 133, Sayı 2, ss.533–537.
- Tang, C., Kassahun, K., McIntosh, I.S., Brunner, J., Rodrigues, A.D.,2000, "Simultaneous determination of urinary free cortisol and 6 b -hydroxycortisol by liquid chromatography – atmospheric pressure chemical ionization tandem mass spectrometry and its application for estimating hepatic CYP3A induction", *Journal of Chromatography B*, Cilt 742, ss.303–313.
- Taylor, P., Özkan, S.A., Uslu, B., Aboul-enein, H.Y. (n.d.). "Critical Reviews in Analytical Chemistry Analysis of Pharmaceuticals and Biological Fluids Using Modern Electroanalytical Techniques Analysis of Pharmaceuticals and Biological Fluids Using Modern Electroanalytical", Sayı December 2012, ss.37–41.
- Turpeinen, U., Hämäläinen, E.,2013, "Determination of cortisol in serum, saliva and urine", *Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism*, Elsevier Ltd, Cilt 27, Sayı 6, ss.795–801.
- Vabbina, P.K., Kaushik, A., Pokhrel, N., Bhansali, S., Pala, N.,2015, "Electrochemical cortisol immunosensors based on sonochemically synthesized zinc oxide 1D nanorods and 2D nanoflakes", *Biosensors and Bioelectronics*, Elsevier, Cilt 63, ss.124–130.
- Van der Linden, W.E., Dieker, J.W.,1980, "Glassy carbon as electrode material in electro- analytical chemistry", *Analytica Chimica Acta*, Cilt 119, Sayı 1, ss.1–24.

- Vieira, J.G.H., Nakamura, O.H., Carvalho, V.M.,2014, "Determination of cortisol and cortisone in human saliva by a liquid chromatography-tandem mass spectrometry method", *Arq Bras Endocrinol Metab*, Cilt 58, Sayı 8, ss.844–850.
- Whitworth, J.A., Brown, M.A., Kelly, J.J., Williamson, P.M.,1995, "Mechanisms of cortisol-induced hypertension in humans", *Steroids*, Cilt 60, Sayı 1, ss.76–80.
- Yardıı, Y., Keskin, E., Zühre, Ş.,2013, "Talanta Voltammetric determination of mixtures of caffeine and chlorogenic acid in beverage samples using a boron-doped diamond electrode", Cilt 116, ss.1010–1017.



## HASANOĞLAN (KD ANKARA-TÜRKİYE) BÖLGESİNİN JURA-ERKEN KRETASE YAŞLI ÇÖKELLERİNİN SEDİMANTOLOJİK VE LİTOFASİYES ÖZELLİKLERİ

<sup>1</sup>Arif DELİKAN, <sup>2</sup>Tülin HATİPOĞLU

<sup>1</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kampüs, KONYA

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Kampüs, KONYA

<sup>1</sup>arifdeli@gmail.com, <sup>2</sup>tlnzdmr1987@hotmail.com

(Geliş/Received: 04.01.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 29.01.2019)

**ÖZ:** Ankara'nın kuzeyinde Erken Jura-Erken Kretase yaşlı kayalar yaklaşık olarak KD-GB doğrultusunda tektonik kontrollü bir havzada çökelmiştir. İstif içerisindeki yanal ve düşey yönde değişimler sinsedimanter tektonizmadan kaynaklanmaktadır. Çalışma alanında Jura-Alt Kretase istifi, hafif metamorfik (Karakaya Kompleksi) kayalar üzerinde açılı uyumsuzlukla yer almaktadır. Sedimanter istif içerisinde 8 litofasiyes ve bu litofasiyeslerin çökeldiği 3 farklı çökeltme ortamı tanımlanmıştır. İstif deltayık konglomera ve kumtaşı ardalanması ile başlamaktadır (Bayırköy Formasyonu-Çoraklıktepe Üyesi; Tane destekli kalın tabakalı çakıltaşları, ince-kaba taneli çakıllı kumtaşları ve ince-kaba taneli bol fosilli kumtaşları litofasiyesleri). Ortamın derinleşmesi ile bol fosilli kırmızı renkli krinoidal kireçtaşları ve ammonitli marllar, kumlu kireçtaşlarını uyumlu olarak örtmektedir. Geç Pliyensbahiyen-Erken Toarsiyen döneminde kırıntılı kayalar tedrici olarak alacalı renkli kırmızı kireçtaşlarına geçiş gösterirler. Bu tipik Ammonitico Rosso fasiyesi (Kırmızı renkli yumrulu kireçtaşı litofasiyesi) kırmızı-bordo renkli çamurtaşları (Kırmızı renkli karbonatlı çamurtaşı litofasiyesi) içerisinde mercek geometrisi sunmaktadır (Beytepe Üyesi). Çalışma alanında Kalloviyen sonrasında gelişen blok faylanmanın bir sonucu olarak taban topoğrafyası değişmiştir. Bunun sonucunda Pelajik Karbonat Platform sedimentleri (Çakırlardere Formasyonu; Pelajik oolitle kireçtaşları ve Mikritik kireçtaşı litofasiyesi) direkt olarak temelin üzerine depolanmıştır. Bu durum sinsedimanter faylanmanın bir sonucu olarak açık denizdeki sığlıkları işaret etmektedir. Pelajik oolitle karbonatlar yanal ve düşey olarak çörtlü kireçtaşlarına geçiş göstermektedir (Soğukçam Formasyonu; Çörtlü kireçtaşı litofasiyesi). Geç Jura- Erken Kretase döneminde ortamın hızla derinleşmesi ile tüm istifin üzerine pelajik biyomikritler çökelmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ammonitico Rosso, Ankara, Jura, PCP, Pelajik oolit

### Sedimentologic and Lithofacies Properties of the Jurassic- Early Cretaceous Deposits in Hasanoğlan (Ne Ankara-Turkey) Region

**ABSTRACT:** Jurassic- Early Cretaceous rocks in the North-east of Ankara (Central Turkey) were deposited in a tectonically controlled basin. Vertical and lateral lithological variations in the sequence were resulted from synsedimentary tectonism. Within the sedimentary sequence, 8 lithofacies and 3 different deposition environments were defined. The Jurassic-Lower Cretaceous sequence in the study area lies on the slightly metamorphosed Late Triassic rocks (Karakaya Complex) with angular unconformity. It begins with interbedded fan deltaic conglomerate and sandstone (Bayırköy Formation-Çoraklıktepe Member; grain-supported thick-bedded conglomerates, fine-coarse grained pebbly sandstones and fine-coarse-grained fossiliferous sandstone lithofacies). The redish and highly fossiliferous crinoidal limestone and ammonite bearing marl rest conformably on the sandy limestone following a fast deepening period. The intermediately bedded pseudonodular limestone with abundant crinoid, ammonit, Bivalvia and brachiopoda follows the red and green marl. During Late Pliensbachian-Early Toarcian mudstone and sandstone progressively passes into variegated-redish limestone. This typical ammonitico-rosso facies (Beytepe Member; Red colored nodular limestone lithofacies) occur as

lens shape deposits within greenish mudstone (Beytepe Member; Red colored carbonate mudstone lithofacies). Due to block faulting formed after Callovian in the area, the basement Topography of the basin changed and the pelagic carbonate platform sediments (Çakırlardere Formation; Pelagic oolitic limestones and micritic limestone lithofacies) having abundant ammonite and pelagic oolite were deposited directly on the basement rocks at the northern part of the study area. This points that shallow areas were formed off shore as a result of synsedimentary faulting. The pelagic ooid bearing limestone grades laterally and vertically into cherty limestone (Soğukçam Formation). During Oxfordian-Early Cretaceous, the area was deepened rapidly and the pelagic bio-micritic limestone (Soğukçam Formation; Cherty limestone lithofacies) was deposited.

**Key Words:** *Ammonitico rosso, Ankara, Jurassic, PCP, Pelagic oolite*

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Jura-Erken Kretase yaşlı istif tüm Pontidler boyunca izlenmektedir. Jura-Erken Kretase yaşlı havza Ankara'nın kuzeyi boyunca Neotetis Okyanusunun kuzey kolunun açılmasıyla ilişkili olarak oluşmuştur (Batman ve diğ., 1978; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör, 1984; Altın ve diğ., 1991; Koçyiğit ve Altın 2002; Eyüboğlu ve diğ., 2006; Deli ve Orhan, 2007; Eyüboğlu, 2015; Eyüboğlu ve diğ., 2016; Delikan ve Atasagun, 2018). Ankara bölgesinde Jura istifi içerisinde oldukça önemli iki periyod söz konusudur. Bunlar Ammonitico-Rosso fasiyesi ve pelajik karbonat platform çökelleridir. Bu iki fasiyes havza evrimini ortaya koymak için önem arz etmektedir. Ammonitico-rosso fasiyesi ilk olarak İtalya'da Jura istifi içerisinde tanımlanmıştır. Pelajik Karbonat Platform (PCP) çökelleri ise doksanlı yıllarda yine İtalya'da Jura istifi içerisinde tanımlanmıştır (Jenkyns, 1974; Elmi, 1981; Farinacci ve Elmi, 1981; Nicosia ve diğ., 1991; Santantonio, 1993,1994; Alkaya, 1998; Kandemir ve Yılmaz, 2009; Vörös, 2012). Ankara bölgesinde, Jura istifi içerisindeki fasiyesler hem litolojik hem de renk olarak yanıl ve düşey yönde değişimler göstermektedir. Havzanın gelişimini ortaya çıkarmak amacıyla aynı yaşlı kayalar, Ankara yakınlarındaki birçok alanda da çalışılmıştır (Varol ve Gökten, 1994; Alkaya, 1998; Alkaya ve Deli, 1998; Bragin ve Tekin, 1999; Deli ve Orhan 2007; Delikan ve Atasagun 2018).

Çalışma alanında Jura-Kretase yaşlı birimler küçük bir alanda yüzlek vermekte ve faylarla birçok kez kesilmiş olmasına rağmen istifin içerisindeki litofasiyeslerin detaylı olarak incelenmesi Ankara bölgesinin Erken Jura-Erken Kretase dönemi olaylarının anlaşılmasına ışık tutmuştur.

## MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Çalışma alanında izlenen litostratigrafik birimler haritaya işlenerek bölgenin jeoloji haritası çıkartılmıştır. İstifin iyi mostra verdiği alanlarda ölçülü stratigrafik kesitler çıkartılmış ve sistematik örnek alımı gerçekleştirilmiştir (158 numune). Kayaların içerdikleri mikro/makro yapılar ve petrografik özelliklerini incelemek amacı ile ince kesitler (87 adet), parlatma kesitler ve asetat kesitler (115 adet) hazırlanmıştır. TPAO (Türkiye Petrolleri A.O.) ve MTA'nın ilgili birimlerindeki paleontologlar tarafından yapılmıştır. İnce kesit çalışmaları ile kayaların petrografik özellikler belirlenmiş, asetat kesitleri yardımı ile de karbonatlı kayaların dokusal özellikleri ve içerdikleri sedimanter yapılar tespit edilmiştir. Karbonatlı kayalar üzerinde Alizerin kırmızısı ile testler yapılmıştır.

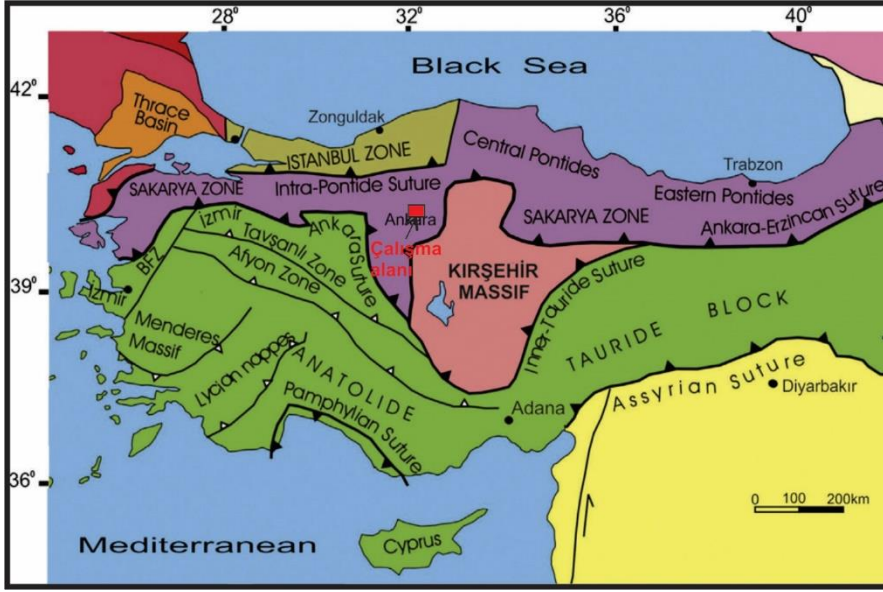
## BULGULAR (RESULTS)

### Çalışma Alanının Jeolojisi (Geology Of The Study Area)

Çalışma alanı, Pontidler Tektonik Birliği içinde Sakarya zonunda bulunmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı hem sinsedimanter tektonizma ve hem de bölgesel ölçekli tektonik hareketlerin etkisinde kalarak bu günkü kıvrımlı ve kırıklı yapısını kazanmıştır. İnceleme alanında Jura-Erken Kretase yaşlı istifin

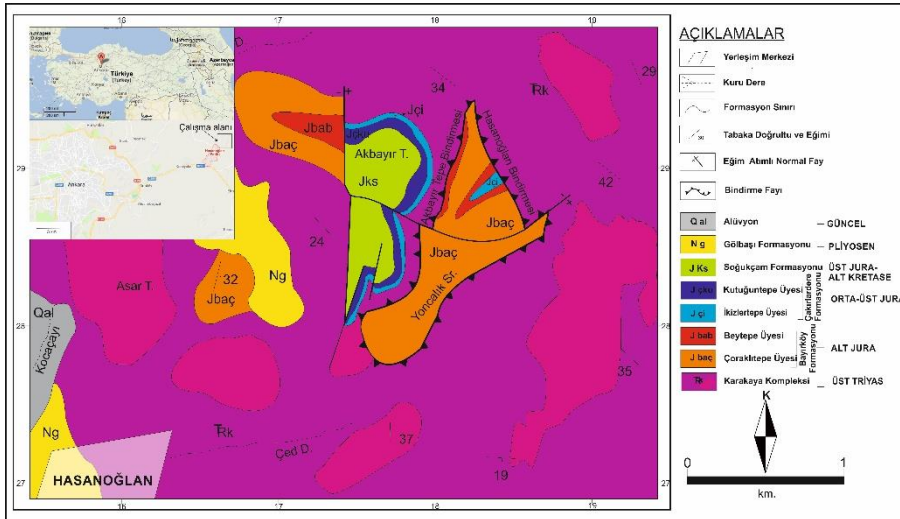


tabanında hafif metamorfik kayalardan oluşan Geç Triyas yaşlı bloklu bir sedimanter melanj yer almaktadır (Karakaya Kompleksi). Temel kayaların üzerine birbirleri ile uyumlu Jura yaşlı Bayırköy, Çakırlardere ve Soğukçam Formasyonları gelmektedir (Koçyiğit, 1987; Deli, 2005; Deli ve Orhan, 2007; Delikan ve Atasagun, 2018). Jura yaşlı sedimanter istifin çalışma alanı içerisinde kalan kesiminde Kretase sonrası gelişen sıkışma rejimi nedeni ile ters faylar meydana gelmiştir. Hasanoğlan ve Akbayır Tepe bindirme fayları boyunca meydana gelen ötelenmeler nedeniyle, Jura istifinin bazı fasiyesleri ve sınır ilişkileri örtülmüştür (Şekil 2 ve 3).



Şekil 1. Türkiye'nin ana tektonik yapılarını ve kıtalarını gösteren harita (Okay ve Tüysüz, 1999).

Figure 1. Tectonic map of Turkey showing the major sutures and continental blocks



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji Haritası (Delikan ve Hatipoğlu, 2014'den)

Figure 2. Geological map of the study area

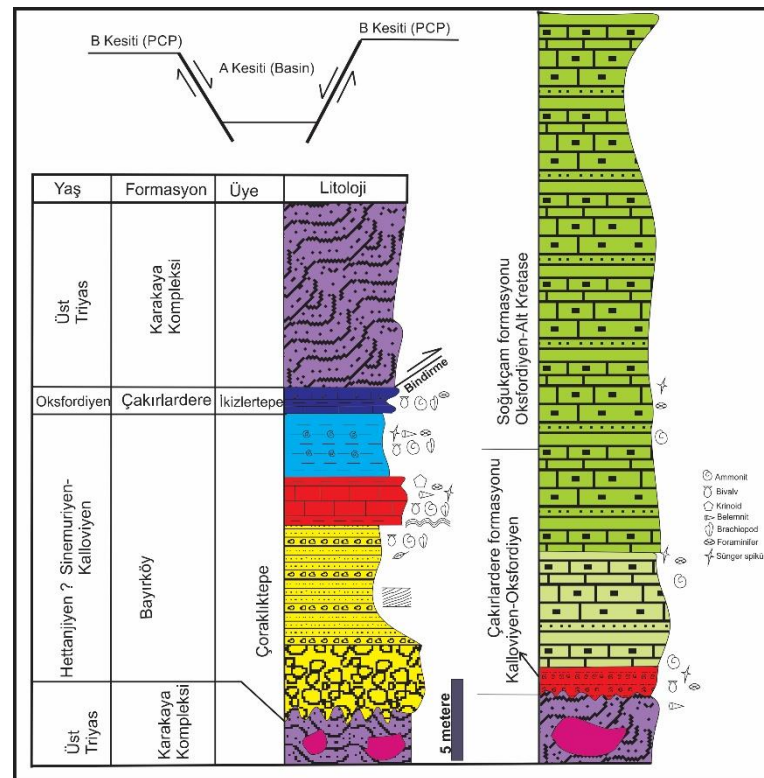
### Karakaya Kompleksi (Karakaya Complex)

Yeşilimsi-açık sarı renkli çakıtaşı, kuvars arenit-litarenitik kumtaşı, çamurtaşı ve bu kırıntılı kayalar içerisinde bol fosilli kireçtaşları ve mermer bloklarından oluşmaktadır. Bingöl ve diğ. (1973), Biga yarımadasında yaptıkları çalışmalarında ilk kez bu kayaç topluluklarını "Karakaya Formasyonu" olarak incelemişlerdir. Kırıntılı birimleri, Batman ve diğ., (1978)'nin Ankara bölgesinde yaptıkları

çalışmada kırıntılı birimleri Hisarlıkaya formasyonu adı altında incelemişlerdir. Okay (1984) Biga yarımadası ve çevresinde yaptığı çalışmada aynı yaş ve özellikteki kayalara Karakaya Kompleksi adını vermiştir. Altın ve Koçyiğit (1993) Biga yarımadasında yaptıkları çalışmada benzer kaya kütlelerine Olukman Formasyonu adını vermiştir.

Karakaya Kompleksi Jura-Kretase yaşlı havzanın temelini oluşturmakta ve çalışma alanında geniş bir yayılım göstermektedir. Üst Karakaya Napı deforme olmuş Permien ve Triyas yaşta kırıntılı ve volkanik kayalardan oluşur. İçerisinde çok sayıda ekzotik kireçtaşı blokları yer alır (Şekil 3 ve Şekil 4A). Karakaya Kompleksi çoğunlukla kalın tabakalanma sunan kumtaşlarından ve çamurtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 4A). Kumtaşları kil-silis çimentolu kuvars arenit, feldispatik grovak ve litik grovak bileşimlidir.

Birim içindeki kırıntılı sedimanlar Geç Triyas döneminde bölgesel metamorfizma nedeni ile yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiştir. Birim serisit-klorit-kuvars şist ve fillit, kuvars-albit-klorit şist, muskovit-kuvars şist, serisit-klorit şistlerden meydana gelmektedir (Bingöl ve dig., 1973; Koçyiğit, 1991; Altın ve Koçyiğit, 1993).



Şekil 3. Çalışma alanının kolon kesitleri (Delikan ve Hatipoğlu, 2014)

Figure 3. Column sections of the study area

### Bayırköy formasyonu (Bayırköy formation)

Formasyon yeşil renkli bol granit çakıllı konglomera, yeşil renkli kumtaşı, krem-sarı-pembe renkli kumlu krinoidal kireçtaşı, bol ammonitli kırmızımsı renkli yumru kireçtaşı ve marn-çamurtaşından meydana gelmektedir. Birim ilk olarak Granit ve Tintant (1960)'ın Bilecik iline bağlı Bayırköy civarında yaptıkları araştırmada Bayırköy kumtaşı ismi verilmiştir. Altın (1965)'nın İnegöl ve Yenişehir (Bursa) yöresindeki araştırmalarında benzer litolojideki birim Bayırköy Formasyonu olarak haritalanmıştır. Batman (1978) ise Ankara bölgesinde yaptığı araştırmalarda bu formasyonu Derinedere Kireçtaşı olarak isimlendirmiştir.

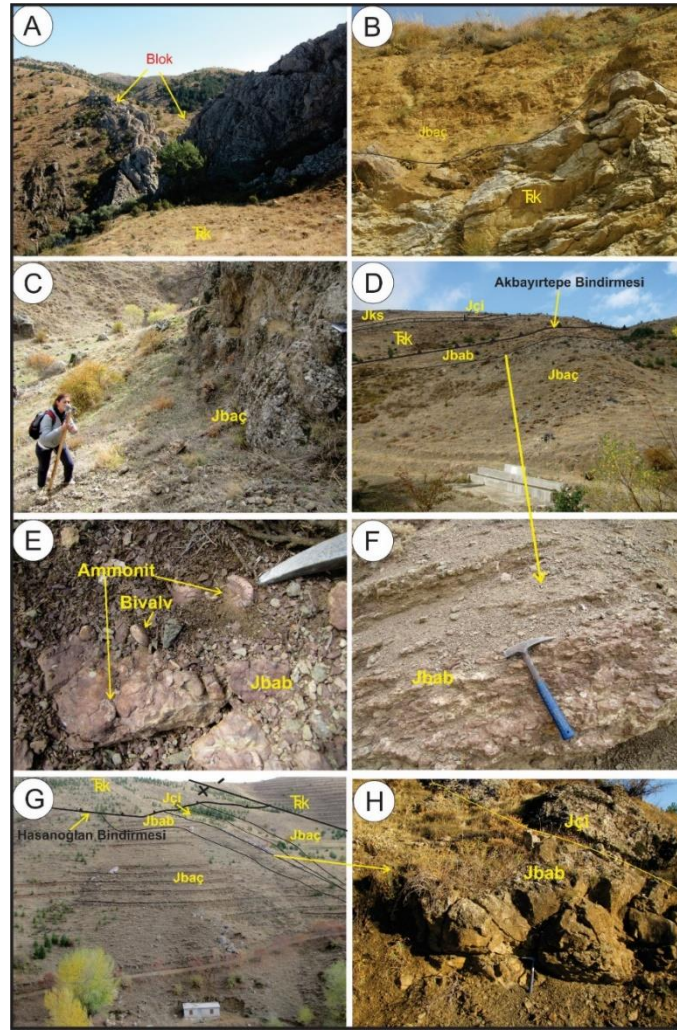
Deli (2005) tarafından bu formasyonu diğer araştırmacılardan farklı olarak Çoraklıktepe, Uzundere, Beytepe, Şeyhlertepe ve Turnaçşeme olmak üzere 5 üyeye ayrılarak incelenmiştir. Yazar çalışmasında

bölgede oluşan tektonik hareketler nedeni ile çalışma alanının farklı kalan kesiminde Çoraklıktepe ve Beytepe isimli 2 farklı üye daha tanımlamıştır.

Tabanda kötü boylanmalı konglomera ve kumtaşı ardalanmasıyla başlayan birim Karakaya Kompleksi üzerine açılı uyumsuzlukla gelmektedir. Kırıntılı düzeyler orta-kalın tabakalı ve kısmen çok dağылandır. Bu kırıntılı düzeyin üst kesimlerine doğru orta tabakalı, tane destekli, iyi yuvarlaklaşmış, kötü boylanmalı ve polijenik konglomeralar yer alır. Kalın konglomera düzeyleri normal derecelenme ile kumtaşlarına ve daha sonra daha ince taneli sedimentler geçiş gösteren paketler şeklindedir. Bu seviyenin üzerinde sarımsı-kırmızımsı renkli çamurtaşı-marn ardalanması yer almaktadır. Üste doğru bol ammonitli çamurtaşlarıyla devam eden birim Çakırlardere Formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Çalışma alanında Akbayır tepe güneydoğusunda Bayırköy Formasyonu'na ait Çoraklıktepe Üyesi ve Beytepe Üyesi yüzlek vermektedir (Şekil 2).

#### **Çoraklıktepe üyesi (Çoraklıktepe member)**

Gri-açık kahve renkli, polijenik kökenli kötü boylanmalı, orto konglomera ve kumtaşından oluşan birim ilk defa Deli (2005) tarafından tanımlanmış ve Bayırköy Formasyonu'nun Çoraklıktepe Üyesi olarak adlandırılmıştır. Üye Hasanoğlan (Ankara) kuzeydoğusunda Akbayır tepe çevresinde yüzlek vermektedir.



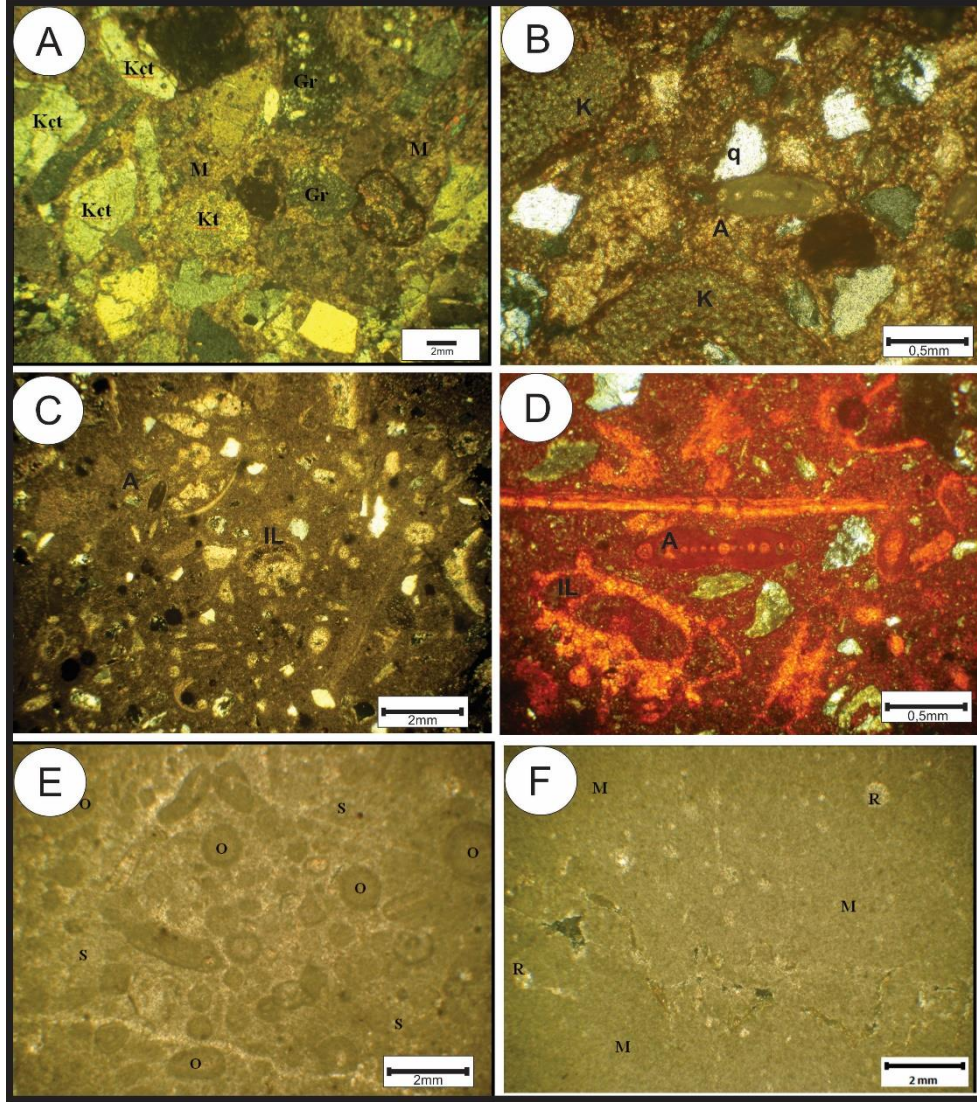
**Şekil 4.** Çalışma sahasındaki kayaların genel görünümü ve ilişkileri, A. Karakaya Kompleksine ait yeşil renkli kalın tabakalı kırıntılı matris içerisindeki kristalize kireçtaşı blokları, B. Erken Jura yaşlı granitik konglomeraların Karakaya Kompleksi içerisindeki kireçtaşı bloğu üzerine açısız uyumsuz olarak gelmesi, C. Granitik konglomeraların genel görünümü, D. Formasyonlar arasındaki sınırlar, E. Ammonitico rosso fasiyesi içerisindeki ammonit ve bivalvia fosilleri, F. Yumruklulu ammonitico rosso fasiyesinin genel görünümü, G. Formasyonlar arasındaki stratigrafik ve tektonik sınırlar, H. Bayırköy Formasyonu ile Çakıradere Formasyonu arasındaki uyumlu sınır ilişkisi (TRk: Karakaya Kompleksi, Jbaç: Çoraklıktepe Üyesi, Jbab: Beytepe Üyesi, Jci: İkizlerstepe Üyesi, Jks: Soğukçam Formasyonu)

**Figure 4.** General view and relations of the rocks in the study area, A. crystallized limestone blocks in the green-colored thick bedded clastic matrix in The Karakaya Complex, B. Early Jurassic granitic conglomerates and basement metamorphic rocks (Karakaya Complex) between unconformably boundary, C. General view of granitic conglomerates, D. The boundaries between the formations, E. the ammonite and bivalvia fossils in the Ammonitico rosso facies, F. the general appearance of the Nodular ammonitico rosso facies, G. the stratigraphic and tectonic boundaries between the formations, H. the conformably boundary relationship between. Bayırköy Formation and Çakıradere Member (TRk: Karakaya Kompleksi), Jbaç: Çoraklıktepe Member, Jbab: Beytepe Member, Jci: İkizlerstepe Member, Jks: Soğukçam Formation)

Konglomeralar ince-iri taneli, kötü boylanmalı, polijenik kökenli, çok kalın tabakalı olarak gözlenmektedir (Şekil 4B ve C). Bölgede Jura istifinin tabanını oluşturan konglomeralar, çakıl boyutları çapı 1-25 cm arasında değişen ve genellikle tane destekli kireçtaşı, silis, çört, granit ve çeşitli metamorfik kayalardan oluşmaktadır (Şekil 5A) ve yer yer çakıllı kumtaşlarıyla ardalanmalı olarak gözlenmiştir (Şekil 4B).

Çoraklıktepe üyesi Akbayır Tepe'nin güney eteğinde 102 m kalınlığındadır. Üyenin üst kesiminde tanımlanamayan denizel bivalv fosilleri içeren tabakalar yer alır. Üyenin üzerine gelen fosilli düzeylere verilen yaşa atfen birimin yaşı Hettanjiniyen (?) -Sinemuriyen olduğu düşünülmektedir (Deli, 2005; Delikan ve Atasagun, 2018).

Kırıntılı kayaların merceksi geometri sunmaları, içerisinde temele ait iri blokların bulunması üyenin karasal örgülü akarsu-sığ denizel fan delta ortamında çökeldiğini göstermektedir (Tucker, 1990).



**Şekil 5:** Litofasiyelerin ince kesit fotoğrafları A: Tane destekli çakıltaşı liofasiyesi, B: Kumlu kireçtaşı litofasiyesi, C. ve D Ammonitico rosso fasiyesi, E: Pelajik oolitli kireçtaşı litofasiyesi, F: Pelajik kireçtaşı litofasiyesi (K: krinoid parçası, O N: Nautiloculina, R: Radiolaria, O: Ostracoda parçası, M: Makro kavkı parçaları, L: Lituolidae, İL: *Involutina liassica*, A: *Agerina martana*)

**Figure 5:** Thin section photographs of lithofacies A: Grain supported conglomerate liofaces, B: Sandy limestone lithofacies, C. and D Ammonitico rosso facies, E: Pelagic oolitic limestone lithofacies, F: Pelagic limestone lithofacies (K: crinoid fragments, O N: Nautiloculina, R: Radiolaria, O: Ostracoda fragment, M: Macro shell parts, IL: *Involutina liassica*, A: *Agerina martana*)

#### Beytepe üyesi (Beytepe member)

Kırmızımsı-alacalı ve yer yer yeşilimsi renkli kalın tabakalı ammonitli, Brachiopoda'lı ve Bivalvia'lı yumrulu kireçtaşı-marn, çamurtaşı ve kumtaşı ardalanmasından oluşan üye ilk olarak Deli (2005)

tarafından Ankara'nın güneybatısında yapılan çalışmalar sırasında Beytepe üyesi olarak adlandırılmıştır. Birim çalışma alanında bulunan Akbayır Tepe' de yüzlek vermektedir (Şekil 2). Beytepe üyesi tabanda sarımsı renkli sert zemin (hardground) türü kumlu kireçtaşı ile başlamaktadır (Şekil 4D ve E). Bu seviye yumrulu kireçtaşları, marn ve çamurtaşı araldanması ile devam etmektedir (Şekil 4F). Çamurtaşlarının üst kesimlerine doğru laminalı kırmızı marnlara ve daha sonra yumrulu kireçtaşlarına geçiş göstermektedir. Kırmızı renkli yumrulu kireçtaşları, kumlu biyomikrit-tanetaşı ve biyomikrit şeklindedir (Şekil 5B, C ve D; Folk, 1962, Dunham, 1962). Yapılan determinasyonlar sonucunda üye içerisinde Nodosaridae, Lituolidae, Ostracoda, Echinoidea, makro kavkı parçaları ve *Nautiloculina* sp. gözlenmiştir. Makro Fosiller; Krinoid diskleri, Ekinid diken ve parçaları, Brachiopoda, Porifera, Bivalvia, Belemnit rostrumu ve Gastropoda'dır.

*Asteroceras* cf. *Obtusum*, *A.* cf. *Stellare*, *A. suevicum*, *Paltechioceras* (*O*) *edmundi*, *Phricodoceras taylori*, *Phylloceras* (*P.*) *hebertinum*, *P.* (*Z.*) *bonarellii*, *P.* (*Z.*) *lavizzarii*, *Hantkeniceras hantkeni*, *Epideroceras praecursor*, *Calliphylloceras bicolae*, *Juraphyllites diopsis*, *Tropidoceras* sp., *Juraphyllites* sp., *Apticus* sp. ammonit cins ve türlerini tanımlamıştır (Alkaya, 1991). Bölgede tespit edilen diğer fosiller ise *Agerina martanum* (*Farinacci*), *Lingulina* sp., *Glomosipira* sp., *Involutina liassica* (*Jones*), *Trocholina* sp. şeklindedir.

Beytepe Üyesi Çoraklıktepe Üyesi ile düşey ve yanal yönde geçiş sunarken üst kesimde Çakırlardere Formasyonu ile uyumludur. Üyenin yaşı ise Alkaya'nın (1991) ammonitler üzerinde yapmış olduğu çalışmalar sonucu, Geç Sinemuriyen-Erken Pliyensbahiye olarak belirlenmiştir. Ankara'nın güneybatısında aynı seviyelerde yapılan çalışmalar sonucu birimin yaşı Erken Toarsiyen olarak belirlenmiştir (Alkaya ve Deli, 1998). Çalışma sahasında haritalanmayacak kadar küçük bir alanda yüzlek veren Turnaçesme Üyesi, Beytepe Üyesi'ne dahil edildiğinden, Beytepe Üyesi'nin yaşı Batoniye olarak sınırlandırılmaktadır.

Ammonitico-rosso fasiyesi ve içerisindeki fosil popülasyonu (özellikle pelajik ve bentik canlı fosillerinin bir arada olması), kayaçların açık denizde sığ ortam şartlarını gösteren Pelajik Karbonat Platformu (PCP) üzerinde çökeldiğini işaret etmektedir (Santantonio, 1993).

Üye içerisindeki kayaçların özelliklerine ve fosil topluluklarına bakıldığı zaman istifin açık denizel bir ortam özelliği sunduğu, fakat sığ açık denizel izole ortam (PCP) üzerinde çökeldiğini göstermektedir (Deli, 2005). Üzerine gelen kırıntı fasiyesler ise ortamın giderek sığlaştığını işaret etmektedir.

### **Çakırlardere formasyonu Çakırlardere Formation)**

Gülkurusu renkli kireçtaşı-marn araldanmasından oluşan istif Granit ve Tintant (1960) tarafından Bilecik bölgesinde yapılan araştırmalarda Bilecik Kireçtaşları olarak adlandırılmıştır. Altınlı (1965), Eroskay (1965), Altınlı ve Saner (1971), Altınlı (1973), Gürpınar (1976) Biga yarımadası ve çevresinde yaptıkları araştırmalarda, Bilecik Kireçtaşları ismini benimsemişlerdir. Batman ve diğ. (1978) formasyonu Çakırlardere Marnı adı altında incelemiştir. Deli (2005) yaptığı çalışmada birimi Çakırlardere Formasyonu adı altında İkizler-tepe ve Kutuğun-tepe Üyesi olarak ikiye ayırmıştır. Çalışma alanında Çakırlardere Formasyonu, Hasanoğlu kuzeydoğusunda bulunan Akbayır Tepe mevkiinde gözlenmiştir (Şekil 2).

Birim, alt kesimlerde pelajik oolitle kireçtaşları, üst kesimlerinde ise radiolaryalı mikritik kireçtaşı özelliğindedir. Çakırlardere Formasyonu, Bayırköy Formasyonu'nun üzerine yanal düşey geçişli olarak gelmekte, üzerinde ise yine yanal düşey geçiş özelliği sunan Soğukçam Formasyonu bulunmaktadır.

Formasyon kapsamında Gastropoda, Belemnit rostrumu, Crinoidea, Brachiopoda, Porifera, Bivalvia, Echinoidea, *Lytoceras* sp., *Globuligerina* gr. *Oksfordiana* (*Grigelis*) fosilleri belirlenmiştir. İçerdiği fosil topluluklarına göre formasyonun yaşı Kalloviyen-Oksfordiyen'dir. Alkaya (1991)'ın yaptığı çalışmada ise Batoniye-Kalloviyen yaşı öngörülmüştür.

Birim, çoğunlukla karbonatlı Ammonitico-Rosso fasiyesinin özelliklerini bünyesinde barındırmaktadır (Farinacci ve diğ., 1981). Bu tür fasiyesler, içerisinde pelajik ve sığ denizel bentik formları içermektedir. Bu nedenle çökme ortamı Pelajik Karbonat Platformu (PCP, Santantonio, 1993) ve derin denizel ortam olarak belirlenmiştir (Deli, 2005).

### İkizlertepe üyesi (İkizlertepe member)

Gri renkli yumrulu kireçtaşlarından oluşan birim ilk defa Deli (2005) tarafından İkizlertepe Üyesi olarak adlandırılmıştır. Üye pelajik oolitle karbonatları kapsamaktadır.

Üye Akbayır tepenin doğu ve batısında yüzlek vermektedir (Şekil 2). Birimin altere rengi sarımsı, taze yüzey rengi açık gri-bej renktedir. Birim masif, sert, kalın tabakalıdır (Şekil 4E). Yanal olarak üyenin litolojik özellikleri değişmektedir. Genellikle pelajik oolitle kireçtaşlarından oluşan birim yanal olarak kalın tabakalı yumru, breşik görünümüne kadar değişebilmektedir. (Şekil 5E). Pelajik foraminiferler, kısmen fosil olarak kayaç içerisinde gözlenirse de etrafında kalsitik sargılanma gözlenmektedir. Bu durum pelajik canlıların öldükten sonra çok sığ bir ortamda dalgaların etkisiyle deniz tabanında işlendiğini göstermektedir. O nedenle bu tür çökeller pelajik oolit olarak isimlendirilmiştir (Deli, 2005 ve Deli ve Orhan, 2007).

Birim içerisinde *Radiolaria* sp., *Globochaele alpina* (Lamnbard), *Palaeoniliolina strumosoum* (Gümbel), *Cornispira* sp., *Globuligerina gr. oksfordiana* (Grigelis), *Globuligerina* sp., *Ammobaculites* sp., *Paleoomiliolina* sp. fosiller gözlenmektedir. Fosillere göre üyenin yaşı Oksfordiyen'dir.

Üyenin kapsadığı kayaç topluluğu içerisinde pelajik ve sığ denizel bentik fosiller birarada bulunmaktadır. Birim, Pelajik Karbonat Platformları'nda (PCP) tanımlanmış fasiyes toplulukların birçok özelliğini taşıdığından, pelajik karbonat platformlarında çökeldiği öngörülebilir (Santantonio, 1993).

### Kutuğuntepe üyesi (Kutuğuntepe member)

Sarı- krem renkli radyolaryalı biyomikritik kireçtaşları ve gülkurusu renkli marnlar ile ardalama gösteren tabakalardan kuruludur (Şekil 6A). Birim Deli (2005) tarafından Kutuğuntepe Üyesi olarak adlandırılmıştır. Orta- kalın yer yer laminalı biyo-mikritik kireçtaşı ve biyo-mikritlerle ardalama marnlardan oluşan üye Akbayır Tepe güneybatısında yüzlek vermektedir (Şekil 2).

Üyeden alınan numuneler mikroskop altında incelenmiş ve makro ölçekte Apticus kalıntılarına rastlanmıştır. Ayrıca biomikritler içerisinde; Ammonit, Aptikus, ince pelajik Bivalvia kavkı parçaları, *Globuligerina oxfordiana* (Grigelis), *Radiolaria* sp., sünger sipikülleri, *Cornispira* sp. ve *Spirillina* sp. fosilleri belirlenmiştir. Fosil içeriği, üyenin yaşını Oksfordiyen olarak göstermektedir.

Üye içerisindeki kayaçların çoğunluğu pelajik biyomikritik kireçtaşlarından meydana gelmektedir. Sadece pelajik fosilli kayaçlardan oluşması üyenin pelajik bir ortamda çökeldiğini işaret etmektedir (Tucker, 1990; Deli, 2005).

### Soğukçam formasyonu (Soğukçam formation)

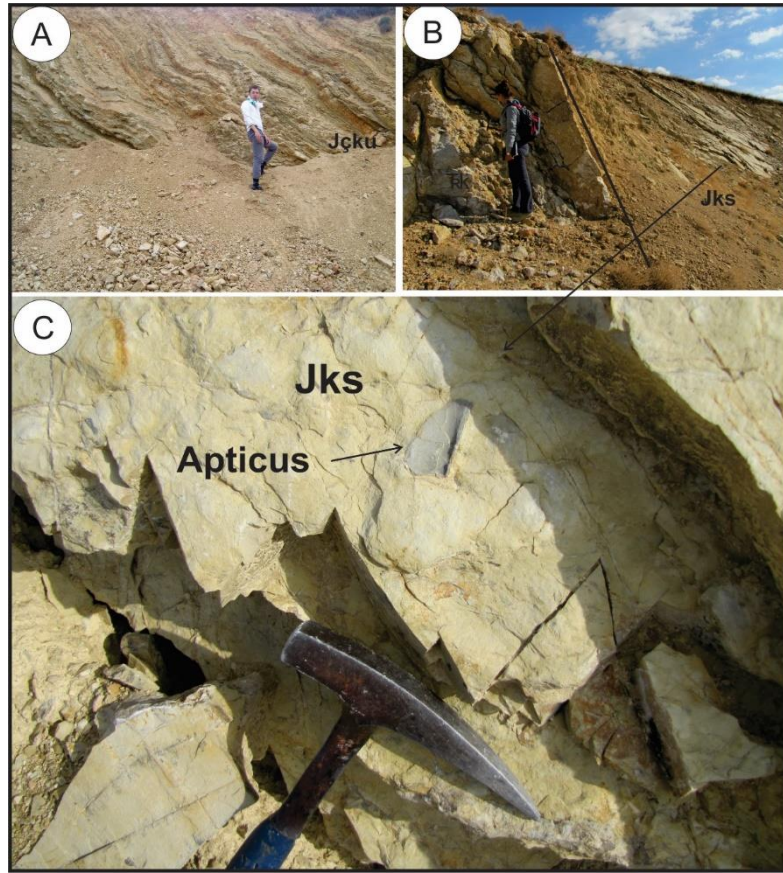
Beyazımsı-bej renkli mikritik kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşlarından oluşan formasyon, Altınlı (1973)'nin yaptığı çalışmalarda Soğukçam Kireçtaşı şeklinde isimlendirilmiştir. Altın ve diğ. (1991)'nin Biga yarımadasından Ankara'nın kuzeyine kadar yaptıkları çalışmalarda ise kayaç topluluğunu formasyon mertebesinde değerlendirmişlerdir. Ankara bölgesinde bu birim ilk defa Deli (2005) tarafından Soğukçam Formasyonu olarak ele alınmıştır. İstif Akbayır tepe üzerine kalın-çok kalın tabakalı çört bantları ile gelmektedir (Şekil 6B ve C). Bej-beyazımsı biyomikritik kireçtaşı ve ara katkılı olarak açık kahve renkli çört bantları ve yumrularından oluşmaktadır. Kireçtaşları üzerinde bol miktarda Aptikus yığılımları ile ammonit izlerine rastlanmıştır (Şekil 6C).

*Radiolaria*'lı biyomikritlerden oluşan formasyonda *Calpionella elliptica* (Cadisch), *Calpionella* sp., *Calpionella alpina* (Loreuz), ve *Radiolaria* sp., ayrıca kalsitürbidik ara seviyelerde; *Globigerina* cf. *Oxfordiana* (Grigelis), *Textularia* sp., *Protopenopli* cf. *Striata* (Weyuschenk), *Chareutia* sp., Echinodea ve Langeniidae gibi fosiller belirlenmiştir (Alkaya, 1991).

Yukarıda adı geçen fosillere dayanarak birimin yaşı Deli'ye (2005) göre Oksfordiyen-Beriazien, Mekik (1999)'in yaptığı çalışmalara göre ise Valanjiniyen'e çıkmaktadır.

Soğukçam Formasyonu, Bayırköy Formasyonu'nun oluşumunu sağlayan tektono-sedimanter sürecin devamında gelişmiştir. Formasyon içerisinde gözlenen türbiditler, sığ denizel ortamdan

malzeme taşıyarak gelen türbid akıntılar ile oluşmuşlardır.



**Şekil 6.** A. Çakırlardere Formasyonu Kutuğuntepe Üyesi'nin genel görünümü, B. Soğukçam Formasyonu ile Karakaya Kompleksi arasındaki faylı sınır, C. Soğukçam Formasyonu içerisinde sıkça görülen Aptikus (ammonitlerin çene aygıtı) fosili.

**Figure 6.** A. General view of Çakırlardere Formation-Kutuğuntepe Member, B faulted *boundary* between Soğukçam Formation and Karakaya Complex, C. Aptikus (jaw apparatus of ammonites) which appears frequently in Soğukçam Formation.

#### **Gölbaşı formasyonu (Gölbaşı formation)**

Birim krem-kırmızı renkli az tutturulmuş konglomera, çamurtaşı ve kumtaşı ardalanmasından meydana gelmektedir (Şekil 2).

Birim çalışma alanında iki farklı bölgede sınırlı bir şekilde yüzlek vermektedir. Kalınlığı 2-8 metre arasında değişmektedir. Çoğunlukla moloz akması karakterinde olan istif, akarsu ve alüvyal yelpaze çökellerinden oluşmaktadır. Gölbaşı Formasyon'u ile Soğukçam Formasyon'u arasındaki sınır ilişkisi açık uyumsuzluktur.

Gölbaşı Formasyon'u akarsu ve alüvyon yelpaze çökellerinden oluşmuştur. Genç formasyonun yaş aralığı Pliyosen'dir (Akyürek ve dig., 1982).

#### **Alüvyon (Alluvium)**

Alüvyon dere yataklarında iyi tutturulmamış kaba ve ince taneli tortullardan meydana gelmektedir.



## Litofasiyeler ve Sedimantolojik Özellikleri (Lithofacies and Sedimentological Properties)

### Fasiyeler (Facies)

Fasiyeler, kayaçların yanal yayılımı, geometrileri, bileşimi, renk, tane boyu, fosil içeriği, tabakalanma şekli, birincil tortul yapıları gibi önemli özelliklerine bağlı olarak ayırtlanmıştır. Fasiyes tanımlamaları yapılırken, kırıntılı kayaçlar için, Miall (1978), karbonatlı kayaçlar için ise Wilson'un (1975) standart karbonat mikrofasiyesi ve Santantonio (1993)'nun Pelajik Karbonat Platformu (PCP) fasiyesleri esas alınmıştır.

Litofasiyelerin ayırtlanmasındaki amaç; depolanma esnasındaki şartları ortaya koymaktır.

### Tane destekli konglomera litofasiyesi (Gcu, Litofasiyes-1) (Grain supported conglomerate lithofacies (Gcu, Lithofacies-1))

Kahve-yeşilimsi renkli, tane destekli, kum ve çamur matriksli konglomeralar ile temsil edilmektedir. Fasiyes karbonatlı serinin tabanını oluşturmaktadır. Yer yer kumtaşı ara katkıları içermektedir. Konglomeralar genelde kalın tabakalanma sunmaktadırlar. Ancak bazı kesimlerde kötü tabakalanma gözlenmektedir. Konglomeralar dağınık olduğu için tabaka içi yapılar gözlenmemiştir. Fakat bazı kesimlerde normal derecelenme nadir de olsa gözlenebilmektedir. Konglomeralarda yönlenme yoktur çakıllar ise gelişigüzel dağılmıştır. Çakıllar, kil boyutundan iri kum boyutuna kadar değişen matriks ile bağlanmıştır. Boyları 2 mm ile 30 cm arasında değişen çakıllar genelde granitlerden türemişlerdir (Şekil 4B ve C). Çakılların çok iyi yuvarlaklaşmış olması, enerjinin oldukça yüksek olduğunu işaret etmektedir.

**Yorum:** Çakılların tane destekli olması, normal derecelenme ve kötü tabakalanma göstermesi, yanal devamlılığın olmaması, kumlu bir matriksle bağlanmış olması, mercek geometrisi sunması örgülü akarsu çökellerini işaret etmektedir. Bunun yanı sıra istifin üst kesimlerindeki iyi tabakalı tane destekli konglomeraların içerisinde denizel fosillerin bulunması bu konglomeraların akarsuyun denize açıldığı yerlerde oluştuklarını düşündürmektedir (Miall,1978)

### Çakıllı kumtaşı litofasiyesi (Sp, Litofasiyes-2) (Pebble sandstone lithofacies (Sp, Lithofacies-2))

Yeşil renkli kalın tabakalı kumtaşlarından oluşan fasiyes içerisinde zaman zaman %15 ten fazla çakıl bulunmaktadır. Kumtaşlarını oluşturan taneler genelde iri kum boyutundadır. Boylanma genelde iyi ve yuvarlaklaşma oldukça iyidir. Bu fasiyes tane destekli konglomeralar ile birkaç kez ardalanma sunmaktadır. Kumtaşları içerisindeki bileşenler %77 kuvars, %12 kayaç parçası, %5 plajioloklas, %6 kil çimento şeklindedir. Bu bileşimlere göre kayaç sublitarenit olarak adlandırılmıştır (Folk, 1962). Bazı seviyelerinde litarenit hâkimdir. Kayaç parçaları mağmatik, metamorfik ve karbonatlı kayaçlardan türemedir. Bağlayıcı olarak kalsit çimento az da olsa demiroksit çimento izlenmektedir.

**Yorum:** Tanelerin oldukça iyi boylanmış olması, içerisinde çakıllar gözlenmesi ve sedimanter yapılardan çapraz tabakalanma izlenmesi, konglomeralar ile ardışık olarak bulunması, yanal devamlılığın fazla gözlenmemesi, örgülü akarsuyun enine barlarında oluşmuş olduğu düşünülmektedir (Miall, 1978).

### Fosilli kumtaşı litofasiyesi (Sf, Litofasiyes-3) (Fossiliferous sandstone lithofacies (Sf, Lithofacies-3))

Bu litofasiyes brachiopod ve bivalvia fosilli kuvarsarenitik kumtaşlarından oluşmaktadır. Litofasiyes sarımsı-kırmızı renklidir ve diğer kumtaşlarına göre daha iyi tutturulmuştur. Ayrıca litofasiyes içerisinde karasal organik materyallere rastlanmıştır. Fasiyes içerisinde akıntı kırışıklıkları izlenmektedir. Kum tanelerinin boylanması ve yuvarlaklanması oldukça iyidir. Kumtaşı ince kesitlerinde oldukça fazla denizel fosile rastlanmıştır. Ayrıca üst kesimlere doğru fosilli çamurtaşları yer almaktadır.

**Yorum:** Fasiyes içerisinde denizel fosil bulunması ve bol miktarda karasal malzeme içermesi, oldukça sığ denizel bir ortamı göstermektedir. Fasiyes, muhtemelen akarsuyun denize açıldığı sığ denizel ortam şartlarında çökelmiştir (Mial, 1978).

**Kırmızı renkli yumrulu kireçtaşı litofasiyesi (Cn, Litofasiyes-4) (Red colored nodular limestone lithofacies (Cn, Litofacies-4))**

Bu fasiyes tabanda kumlu kireçtaşları ile başlamaktadır. Üzerine sarımsı-kırmızımsı renkli çamurtaşı-marn araldanması gelmekte, üste doğru bol ammonitli, krinoidli ve bivalvli çamurtaşlarıyla devam etmektedir. Ammonitli çamurtaşlarının üst kesimine doğru kırmızı renkli marn-yumrulu kireçtaşı araldanması gözlenmektedir. Birim içerisinde Erken Sinemuriyen yaşlı fosil cinsleri bulunmaktadır. Çoğunlukla taşınma emareleri gösteren tanelerin egemen bileşenini ekinoderm parçaları oluşturur (Alkaya, 1991). Diğer bileşenler az miktarda ammonit parçaları ve tek tip biyoklastik kırıntılardır. Fasiyes içerisinde ammonitlerin stratigrafik önemi yoktur; fakat çökeldikleri ortam hakkında veri sağlarlar. Litofasiyes ağırlıklı olarak litofasiyes 3'ün üzerine uyumlu olarak gelmektedir.

Kayaç numunelerinden yapılan ince kesitlerde bol miktarda sünger spiküleri gözlenmiştir. Bu da süngerin yaşadığı bir ortamda çökme olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda iri taneli kuvarslar görülmektedir. Bunun yanı sıra çok az miktarda *Agarina martanum* fosili (Deli, 2005) görülmektedir. Kavkı parçalarının içleri sonradan demiroksit çimento ile dolmuş durumdadır (Şekil 5 B, C ve D).

**Yorum:** Litofasiyesin tabanında yer alan ve sığ denizel koşullarda çökelmiş olan kumlu kireçtaşları, tektonik hareketler sonucu faylanmalara maruz kalmıştır. Bu faylanmalar sonucunda bazı kesimler açık denizde sığ alanlar (PCP) bazı kesimlerde ise daha derin havzalar oluşmuştur. Daha önce de bahsi geçen bu yanal fasiyes değişiklikleri, sinsedimanter tektonizma sonucunda gerçekleşmiştir. Özellikle Beytepe üyesi eğimli bir deniz altı yükseltisi üzerinde oluşmuştur. Birim, Santantonio (1993)'ün Pelajik karbonat platformu fasiyes topluluğu içindeki Fasiyes A ile deneştirilebilir.

**Kırmızı renkli karbonatlı çamurtaşı litofasiyesi (Cm, Litofasiyes-5) (Red colored carbonate mudstone lithofacies (Cm, Litofacies-5))**

Bu fasiyes, içerisinde taşınmış ammonit parçaları içermektedir. Kırıntılı terrijen malzeme çoktur. Çalışma alanının batısında iyi tabakalı yumrulu görünümlü iri ammonitli karbonatlardan oluşmaktadır (Şekil 4E). Çalışma alanının doğusunda ise ammonitlerin çok iyi korunmadığı yumrulu-kalsirudit görünümdedir. Kayaç adı Folk, (1962)'ün sınıflandırmasına göre biyomikrit ve seyrek biomikrit olarak belirlenmiştir.

**Yorum:** Fasiyes içerisinde bol pelajik fosiller yer almaktadır. Ayrıca yer yer sert zemin oluşumları, bio-erozyon ve kavkı içlerinde demiroksit dolguların olması, sedimantasyonun düşük olduğu açık denizel şartlarını ifade etmektedir. Birim, Santantonio (1993)'ün pelajik karbonat platformu fasiyes topluluğuna ait Fasiyes B ile deneştirilebilir.

**Pelajik ooidal kireçtaşı litofasiyesi (Cpo, Litofasiyes-6) (Pelagic ooidal limestone lithofacies (Cpo, Litofascia-6))**

Litofasiyes, bej renkli kalın tabakalı pelajik oolitli kireçtaşından oluşmaktadır. Kayaçların altere yüzeyi sarımsı renkli, taze yüzeyi bej renklidir. Fasiyesin ölçülen kalınlığı 4.75 metredir. Ancak Deli (2005)'e göre sadece kalın tabakalı pelajik oolitli kesimin yaklaşık kalınlığı 25 metreyi bulmaktadır.

Seviyenin alt kesimi içerisinde makro ölçekte ammonit izleri, belemnit, bivalvia ve ekinidler gözlenmektedir. Kireçtaşları arasında bol killi, çamurlu seviyelere rastlanılmaktadır. Bu yüzden de fasiyes kalın bir tabakalanma sunmaktadır.

Kireçtaşını oluşturan allokemler pelajik oolitler, pellet ve fosil'den (Ammonit parçaları, Globigerinid ve kavkı parçaları) ibaret olup bağlayıcısı sparikalsit'tir (Şekil 5E). Kayaç dokusu mikro olarak incelendiğinde oldukça iyi paketlenmiş olduğu görülmektedir.

**Yorum:** Litofasiyes topluluğu bölgede gelişen Pelajik Karbonat Platformu üzerinde depolanmıştır. Birim temele ait kırıntılı kayaçlar üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Bölgenin oldukça örtülü olması nedeni ile PCP oluşturan paleo fayların hepsi tespit edilememiştir. Fakat fosil topluluğu ve pelajik oolitler, çökme ortamının açık denizlerdeki yükselti olduğunu göstermektedir (Santantonio, 1993; Santantonio, 1994).

#### **Mikritik kireçtaşı litofasiyesi (Cc, Litofasiyes-7) (Micritic limestone lithofacies (Cc, Lithofacies-7))**

Litofasiyes, yoğun biotürbasyonlu, pembemsi-sarımsı-bej renkli killi kireçtaşı, kireçtaşı ve bunlarla ardalanmalı marnlardan oluşmaktadır. Litofasiyes tabanda marnlı ve karbonatlı Ammonitico-Rosso fasiyeslerinin (Çakırlardere Formasyon'u) üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Üst sınırında ise çörtlü kireçtaşları (Soğukçam Formasyonu) tarafından uyumlu olarak örtülmektedir.

Litofasiyes kalın tabakalı yer yer laminalıdır. Tabanda pembemsi-sarımsı kireçtaşları ile marnlar ardalanmalı olarak yer almaktadır. Birim orta ve üst kesimlerde sarımsı renkli kireçtaşlarından meydana gelmektedir.

Birimin her kesiminde ammonit izlerine rastlanılmaktadır. Fakat iyi korunmuş ammonit sadece tabandaki ilk tabakada bulunmakta, diğer kesimlerde ise sadece izleri ve çene aygıtları gözlenmektedir. Apticus'lar tabanda yoğun olarak gözlenmektedir. Litofasiyeye ait tüm tabakalarda, *Radyolaria* sp, *Radiolaria* sp, sünger sipikülleri gibi allokemler gözlenmektedir. Yer yer litofasiyes içerisinde stilolitleşmeler gözlenmektedir.

**Yorum:** Birim alt bölümde yer alan Pelajik Karbonat Platformunun (PCP) boğulmasına ilişkin, PCP'lerin üzerine gelen ilk pelajik fasiyestir. Stilolizme gibi diyajenez sonrası oluşan sedimanter yapılar, diyajenez sonrası oldukça fazla basınç etkisinde kaldıklarını işaret etmektedir.

#### **Çörtlü kireçtaşı litofasiyesi (Cp, Litofasiyes-8) (Cherty limestone lithofacies (Cp, Litofacia-8))**

Litofasiyes, beyaz-bej renkli ince-orta tabakalı kireçtaşı ve siyah-kahve- yeşilimsi renkli çörtlerinin ardaşımından meydana gelmektedir (Şekil 6B ve C).

Kireçtaşları çok kırılğan ve serttir. Litofasiyes alt ve orta kesimlerde beyaz-bej renklidir. Üst bölümlerde pembemsi renklidir. Kireçtaşlarının tümü bio-mikritlerden meydana gelmektedir (Folk 1962). İstif içerisinde stilolizme yaygındır. Laminalanma gösteren fasiyes içerisinde iyi gelişmiş slump kırılmaları da sık sık gözlenmektedir.

**Yorum:** Litofasiyes pelajik killi kireçtaşlarının üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Kalsit doyum derinliğinde meydana gelen dalgalanmalara bağlı olarak karbonatlı ve silisli çökeller ardaşımli olarak oluşmuşlardır (Tucker 1990). Litofasiyes içerisindeki kayaçlar tümü ile pelajik biyomikritlerden oluşması ve bu kayaçlara çörtlerin refakat etmesi birimin derin denizel ortamda çökeldiğini işaret etmektedir.

### **TARTIŞMA (DISCUSSION)**

Çalışma alanında belirlenen fasiyesler (Tablo 1), çökme şartlarının ipuçlarını bünyelerinde taşımaktadırlar. Bu nedenle fasiyes toplulukları kayaçların nasıl bir ortamda çökeldiklerini ve havzanın oluşum dinamiği hakkında önemli verilere ulaşılmasını sağlamaktadır.

#### **Fasiyes Topluluğu 1 (Litofasiyes 1-2-3) (Facies Association 1 (Lithofacies 1-2-3))**

##### **-Akarsu- yelpaze deltası ortamı (Fluvial-fan delta environment)**

Topluluk, tane destekli konglomera fasiyesi (Litofasiyes-1), çakıllı kumtaşı litofasiyesi (Litofasiyes-2) ve fosilli kumtaşı litofasiyesinden (Litofasiyes-3) oluşmaktadır. Topluluğun tabanı örgülü akarsu çökelleri ile başlamaktadır. Bu çökellerin içerisinde gelişen boyuna seddelerde konglomeralar çöklemiştir. Zaman zaman kalınlığı az çakıllı kumtaşları transversal seddeler üzerinde oluşmuştur.

Küçük açılı çapraz tabakalarda seddelerin üzerinde gelişen ripple marklara bağlı olarak gelişmiştir. Akarsuyun denize açıldığı yerlerde ise kırıntılı kayaçlar yelpaze deltası ortamında şekillenmiştir. Bu kırıntılı seriyi kırıntılı karbonatlar izlemektedir.

**Yorum:** Litofasiyes topluluğu tabanda karasal kaba kırıntılar ile başlamaktadır (örgülü akarsu ortamı). Daha sonra fosilli konglomera ve kumtaşlarına geçiş göstermektedir (yelpaze deltası ortamı). Kırıntılı istif karasaldan ve denizele geçişi ifade etmektedir.

## **Fasiyes Topluluğu 2 (Litofasiyes 4-5-6) (Facies Association 2 (Litofacies 4-5-6))**

### **-Pelajik karbonat platformu (PCP) (Pelagic carbonate platform (PCP))**

*Pelajik Karbonat Platform (PCP) terminolojisi ve özellikleri:* PCP'ler üst kesimleri ince pelajik kondanse istif ile örtülmüş açık sığ denizel kireçtaşlarının bir bölümü olarak karakterize edilmektedir ve paleo faylar ile sınırlandırılmıştır. PCP çökellerinin taban kontakları çoğu kez uyumludur (Santantonio, 1993; Santantonio, 1994)

Çalışma alanında Pelajik Karbonat Platform'una (PCP) ait fasiyes topluluklarından Kondanse pelajik fasiyes topluluğu (Litofasiyes-4) ve Normal ve resediment pelajik fasiyes toplulukları (FB) (Litofasiyes-5) bulunmaktadır (Santantonio, 1993).

Ammonitli marınların hemen üzerine ortamın enerjisinin biraz yükselmesi ile daha fazla ammonit parçalarını içeren kalın tabakalı yumrulu görünümlü kireçtaşları çökelmiştir. Bu ammonit yumrularını içeren seviyenin üzerine Brachiopodlu kireçtaşları gelmiştir. Brachiopodlu kireçtaşlarının üzerine ortamın nispeten derinleşmeye başladığını gösteren krinoidal fasiyes ve üzerine gelen karbonatlı Ammonitico Rosso fasiyesi zlenmektedir (Santantonio, 1993).

**Yorum:** Bu fasiyes topluluğunun sedimentolojik özellikleri diğer fasiyes topluluklarıyla olan yanal düşey ilişkileri topluluğun PCP üzerinde çökelmiş tipik sığ denizel pelajik ortam ürünü olduğunu göstermektedir (Santantonio, 1993; Santantonio, 1994).

**Tablo 1.** Jura-Kretase istifine ait litofasiyeler. Fasiyes kodları ve tanımlama Miall (1978), Santantono (1993) ve Flügel (2004)'den alınmıştır

**Table 1.** Lithofacies of Jurassic-Cretaceous sequence. Facies codes and identification were taken from Miall (1977), Santantono (1993) and Flügel (2004).

Fasiyes	Tanımlama	Çökeltme şartları ve ortamı
Tane Destekli Konglomera Litofasiyesi (Gcu)	Tane destekli kalın tabakalı çakıltaşları	Hiper konsantre akış ve yüksek yoğunlukta türbiditik akış, örgülü akarsu
Çakıllı Kumtaşı Litofasiyesi (Sp)	İnce-kaba taneli çakıllı kumtaşları	Yüksek veya düşük yoğunlukta türbiditik akış, örgülü akarsu
Fosilli Kumtaşı Litofasiyesi (Sf)	İnce-kaba taneli bol fosilli kumtaşları	Deltayik ortam, düşük ya da yüksek yoğunlukta türbiditik ve deniz dalgası etkisi, yelpaze deltası
Kırmızı Renkli Yumrulu Kireçtaşı Litofasiyesi (Cn)	Fosilli noduler kireçtaşları	Eğimli ya da düz PCP blokları üzerindeki enerjili ortam
Kırmızı Renkli Karbonatlı Çamurtaşı Litofasiyesi (Cf)	Fosilli biyomikrit	Pelajik /yarı pelajik ortam
Mikritik Kireçtaşı Litofasiyesi (Cpo)	Pelajik oolitle kireçtaşları	PCP ortamı
Mikritik Kireçtaşı Litofasiyesi (Cc)	Radiolaria'lı biyomikrit	Derin denizel ortam
Çörtlü Kireçtaşı Litofasiyesi (Cp)	Radiolaria'lı biyomikrit	KKD dalgalanması, derin denizel ortam

### Fasiyes Topluluğu 3 (Litofasiyes 7-8) (Facies Association 3 (Litofacies 7-8))

#### -Derin denizel ortam (deep sea environment)

Topluluk, mikritik kireçtaşı litofasiyesi (Litofasiyes-7) ve çörtlü kireçtaşı litofasiyesinden (Litofasiyes-8) meydana gelmektedir.

Fasiyes topluluğu tabanda Kalloviyen-Oksfordiyen yaşlı PCP çökellerini uyumlu olarak örtmektedir. Birim alt kesimde radyolaryalı biyomikrit ve marn ardalanmalı çökellerin depolanması ile başlamaktadır. Bu seviye tabanda iri ammonitli, üst kesimlere doğru ise Apticus'lu pelajik kireçtaşlarından kuruludur. Bu bölümün diğer bir özelliği de PCP'nu boğulmasını sağlayan ilk pelajik çökellerdir. PCP çökellerine göre hızlı sedimantasyon ve sinsedimanter faylanmalara bağlı olarak taban ve orta kesimlerinde yoğun kayma kıvrımları gelişmiştir. Marnlı pelajik kireçtaşı ardalanması ortamın giderek derinleşmesine bağlı olarak gelişen derin denizel ortamların tipik çökelleri olan çörtlü kireçtaşlarının tabanını teşkil etmektedir. Zaman zaman bu pelajik çökeller arasına, derin deniz kanallarının taşıdıkları sığ denizel karakterdeki çökeller derin denizel yelpazeler şeklinde depolanmıştır.

**Yorum:** Topluluk tümü ile derin denizel bir ortamda çökelmiştir. Derin denizel çökellerin tipik kayaçları olan çörtlü radyolaryalı biyomikritler egemen litolojii oluşturmaktadır. Çörtlü kireçtaşları kalsit kompansasyon derinliği (CCD) sınırının okyanusal havzada meydana gelen dalgalanması sonucunda oluşmuşlardır (Tucker, 1990).

## SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

1. Çalışma alanındaki Jura-Erken Kretase çökellerinin varlığı Ankara'nın çevresinin Jura dönemindeki evriminin açıklanmasında önem arz etmektedir. Bölgede belirlenen litofasiyesler Ankara Hacettepe ve Kösrelik bölgesindeki fasiyesler ile aynı özellikleri taşımaktadır. Bu nedenle bu bölgeler birbirleri ile denetirilebilir niteliktedir.

2. Çalışma alanında 3 formasyon tanımlanmış ve bu formasyona ait 8 farklı litofasiyes belirlenmiştir Tanımlanan bu litofasiyesler sedimanter yapılar ve fosil içeriği bakımından oldukça zengindir. Litofasiyeslerin bu özellikleri sayesinde havza içerisinde 3 önemli çökeltme ortamı belirlenmiştir (Karasal-denizel geçiş ortamı-fasiyes topluluğu 1, Sığ denizel karbonatlı ortam-fasiyes topluluğu 2 ve son olarak da derin denizel ortam-fasiyes topluluğu 3)

3. Petrografik incelemeler sonucunda belirlenen pelajik oolitik fasiyes Ankara bölgesinde Geç Jura dönemindeki oluşan Pelajik Karbonat Platformu (PCP) ortamının Hasanoğlan bölgesine kadar uzandığını kanıtlamaktadır.

4. Jura yaşlı istifin bazen Erken Jura yaşlı konglomeralarla bazen de Kalloviyen/Oksfordiyen yaşlı pelajikler ile temel kayalar üzerine gelmesi Geç Jura'da sinsedimanter tektonizmanın hâkim olduğu ve denizel havza içerisinde açık denizde sığlıkların ve derin havzaların oluştuğunu işaret etmektedir (Santantonio, 1993; Santantonio, 1994; Deli, 2005; Delikan ve Atasagun, 2018).

5. Bölgede daha önce kısmen belirlenen bindirme hatlarının birbirinden farklı iki ekay şeklinde gerçekleştiği ve Jura-Erken Kretase çökellerinin iki kez örtülmesine sebep olduğu anlaşılmaktadır. Bölgede yer alan bindirme tektoniğinin benzeri Ankara Bağlum bölgesinde gözlenmektedir. Bu durum Ankara bölgesinin Kretase sonrası kuzey-güney yönde sıkıştığını göstermektedir. Çalışma alanının doğusunda gelişmiş bindirme fayı Hasanoğlan bindirme fayı, bu bindirme fayının batısındaki bindirme fayı ise Akbayır Tepe Bindirme fayı olarak isimlendirilmiştir.

6. Bölgede yoğun tektonizma nedeni ile Soğukçam Formasyon'u ile Karakaya Kompleksi içerisindeki karbonatlı kayalar yan yana gelmiştir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda bu iki karbonatlı kayaç, farklı birimler olarak ayırtlanmamıştır. Ancak tarafımızdan yapılan çalışmalar Soğukçam Formasyonu'nun hem fosil içeriği hem de litolojik özellikleri (renk, tane boyu, rekristalizasyon ve kıvrımlı yapısı) bakımından farklılıklar gösterdiği için bu çalışmada farklı bir birim olarak haritalanmıştır.

7. Çoraklıktepe üyesi içerisinde yer alan granitik konglomeralar Ankara bölgesinin kuzey batısında yer alan Triyas öncesi bir granitik kaynaktan beslenmiştir. Yakın bir alanda Triyas öncesi bir granitin bulunmamasından dolayı muhtemelen Ankara yakınlarında Paleozoyik (?) yaşlı gömülü bir granitin olduğu düşünülmektedir. Bu durumun açığa kavuşması, bölgenin paleo-tektonik konumuna ışık tutacağı kanaatindeyiz

## KATKI BELİRTME (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu araştırma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenmiştir (Proje no: 11201120). Ayrıca Ammonitlerin determinasyonu için Prof. Dr. Füsün ALKAYA'ya teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbas, B., Haspen, N., Pehlivan, S., Çatal, E., Dager, Z., Soysal, Y., Sunu, O., Sözeri, B., Yıldırım, H. ve Hakyemez, Y. 1982., "Ankara – Elmadag – Kalecik dolayının temel jeolojisi özellikleri." *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Vol.20, pp.31–46.
- Alkaya, F, 1991, "Hasanoğlan (Ankara) Yöresi Sinemuriyen-Alt Pliyensbahiyen Ammonit Zonları ve Taphonomisi." *Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu*, pp.11- 21.
- Alkaya, F, 1998, "Kösrelik-Kızık (Ankara) Alanı Sinemuriyen-Bajosiyen (Alt-Orta Jura) Istifinin Ammonit Faunası ve Stratigrafisi." *Cumhuriyetin 75. yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik*

- Kongresi Bildiri özetleri*, pp.137- 138.
- Alkaya, F., Deli, A., 1998, "Acaatlı Beytepe (Ankara) alanının Sinemuriyen-Toarsiyen (Alt Jura) istifi." *Türkiye Cumhuriyeti'nin 75. yılında Fırat Üniversitesinde Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin 20. Yıl Sempozyumu Bildiri Özleri*, pp.156.
- Altınar, D., Koçyiğit, A., Farinacci, A., Nicosia, U., Conti M.A., 1991, "Jurassic-Lower Cretaceous Stratigraphy and Paleogeographic Evolution of the southern Part of North-Western Anatolia (Turkey)" *Geologica Romana*, Vol.27, pp. 13-80
- Altınar, D., Koçyiğit, A., 1993, "Kuzeybatı Anadolu güneyinin Jura-Erken Kretase'deki Paleocoğrafik evrimi". *Turkish Journal of Earth Sciences*, vol.1, pp. 1-9.
- Altınlı, I.E., Saner, S., 1971, "Bilecik yakın dolayının jeoloji incelemesi." *İ.Ü. Fen Fak. Mecmuası*, "Vol. 36, No. 1-2, pp.9-21.
- Altınlı, I.E., 1965, "İnegöl havzasının jeolojisi ve hidrojeolojik incelemesi." *İ.Ü. Fen Fak. Mecmuası*, Vol. 28, No. 3-4, pp.173-199.
- Altınlı, I.E., 1973, "Bilecik Jurasığı." *Cumhuriyet'in 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, Tebliğler*, pp.103-111.
- Batman, B., 1978, "Haymana kuzeyinin jeolojik evrimi ve yöredeki melanjin incelenmesi I: stratigrafi birimleri." *H.Ü Yerbilimleri Derg.* Vol.4, No.1,2, pp.95-124.
- Batman, B., Kulaksız, S., Görmüş, S., 1978, "Alacaatlı Yöresinde (SW ANKARA) Jura-Kretase Yaşlı İstifin Deformasyon Özelliklerine İlişkin Bir İnceleme." *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi* Vol.4, No. 1,2 pp.135-153.
- Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer, B., 1973, "Biga yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri." *Cumhuriyet'in 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri, MTA Ens*, pp.70-77.
- Bragin, N.Yu., Tekin U.K. 1999, "Stratigraphy and the Upper Jurassic-Lower Cretaceous radiolarians from the carbonate-siliceous deposits, Ankara Region, Turkey." *Stratigraphy and Geological Correlation (English version)*, Vol.7, No.2, pp. 130140.
- Deli, A., 2005, "Beytepe Köyü- Alacaatlı-Etimesgut (GB Ankara) Yöresinde Jura- Kretase Çökellerin Sedimentolojik Özellikleri." *Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi*, Konya, p.226.
- Deli, A., Orhan, H., 2007, "Beytepe Köyü- Ümitköy-Alacaatlı (GB Ankara) Yöresinde Jura-Kretase Çökellerin Paleocoğrafik Evrimi." *60. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri*, p.391-393, Ankara.
- Delikan, A., Hatipoğlu, T., 2014, "Hasanoğlan (kd Ankara) Bölgesinin Jura-kretase Yaşlı Çökellerin Sedimentolojisi." *Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst. Yüksek lisans tezi*, Konya, p.80.
- Delikan, A., ve Atasagün, 2018, "Facies characteristics of Jurassic-Lower Cretaceous successions at Kosrelık-Kosrelıkzığı (North of Ankara, Turkey)." *Carbonates Evaporites*, Vol.33, pp 375-402.
- Dunham, R.J., 1962, "Classification of carbonate rocks according to depositional, in Ham, W.E. (ed), Classification of carbonate rocks. Am. Assoc." *Petroleum Geologist Mem.* Vol.1, pp. 108-121.
- Elmi, S., 1981, "Classification typologique et genetique des ammonitico- rosso et des facies noduleux ou grumeleux: essai de synthese. In: Farrinacci A, Elmi S (eds)." *Rosso Ammonitico Symposium Proceedings. Tecnoscienza*, pp 233-249.
- Eroskay, S.O., 1965, "Paşalarboğazı-Gölpazarı sahasının jeolojisi." *İ.Ü. Fen Fak. Mecmuası*, Vol. 30, pp.135-159.
- Eyüboğlu, Y., 2015, "Petrogenesis and U-Pb zircon chronology of felsic tuffs interbedded with turbidites (Eastern Pontides Orogenic Belt, NE Turkey): implications for Mesozoic geodynamic evolution of the eastern Mediterranean region and accumulation rates of turbidite sequences." *Lithos*, Vol. 212-215, pp. 74-92.
- Eyüboğlu, Y., Bektas, O., Seren, A., Maden, N., Jacoby, WR., Özer, R., 2006, Three axial extensional deformation and formation of the Liassic rift basins in the Eastern Pontides (NE Turkey). *GeolCarpath* 57(5): 337-346.
- Eyüboğlu, Y., Dudas, FO., Santosh, M., Xiao, Y., Yi, K., Chatterjee, N., Wu, FY., Bektas, O., 2016, "Where are the remnants of a Jurassic ocean in the eastern Mediterranean region." *Gondwana Res*, Vol.33, pp. 63-91.
- Farinacci, A., Malantruccio, G., Mariotti, N., Nicosia, U., 1981, "Ammonitico- Rosso Facies in the

- framework of the Martani Mountains: Paleoenvironmental evolution during Jurassic. (Ed. By A. Farinacci and S. Elmi), In. Proc." *Rosso Ammonitico Symposium*, pp.311-334
- Farinacci, A., Elmi, S., 1981, "Preface. In: Farinacci A, Elmi S (eds)" *Rosso Ammonitico Symposium Proceedings, Tecnoscienza*, pp 1-8.
- Flügel, E. 2004, "Microfacies of carbonate rocks. Analysis, interpretation and application". Springer, Berlin, pp.425.
- Folk, R.L., 1962, "Spectral subdivision of limestone types in Ham, W.E. (ed), Classification of carbonate rocks: Am. Assoc." *Petroleum Geologist Mem.*, Vol.1, pp. 62-84.
- Granit, Y., Tintant, H., 1960, "Observation preliminaires sur le Jurassique de la region de Bilecik (Turquie)." *C.R. Acad. Sc. Paris*, Vol.251, pp. 1801-1803.
- Gürpınar, O., 1976, "Geological investigation of the Bilecik-İnegöl-Yenişehir Territories together with a study of engineering properties of the Bilecik Limestone." *İ.Ü. Fen Fak. Mecmuası*, Vol. 40, pp. 83-113.
- Jenkyns, HC., 1974, "Origin of red nodular limestone (Ammonitico Rosso, Knollenkalke) in the Mediterranean Jurassic: a diagenetic model." *In: Special Publication of International Association of Sedimentologists*, Vol. 1, pp 249-271.
- Kandemir, R., Yılmaz, C., 2009, "Lithostratigraphy, facies, and deposition environment of the lower Jurassic Ammonitico Rosso type sediments (ARTS) in the Gumushane area, NE Turkey: implications for the opening of the northern branch of the Neo-Tethys Ocean." *J Asian Earth Sci*, Vol.34, pp.586-598.
- Koçyiğit, A., 1987, "Hasanoğlan (Ankara) Yöresinin Tektono. Stratigrafisi: Karakaya Orojenik Kuşagının Evrimi." *Yerbilimleri*, Vol.14, pp.269-293.
- Koçyiğit, A., 1991, "First Remarks On The Geology of The Karakaya Basin: Karakaya Orogen and Pre-Jurassic Nappes in Eastern Pontids, Turkey." *Geologica Romana*, Vol.27, pp. 3-11.
- Koçyiğit, A., Altner, D., 2002, "Tektonostratigraphic Evolution of the North Anatolian Paleorift (NAPR): Hettangian-Aptian Passive Continental Margin of the Northern Neo-Tethys." *Turkey Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.)*, Vol. 11. pp.169-191.
- Mekik, F.A., Ling, H.Y., Özkan Altner, S., Altner, D., 1999, "Preliminary radiolarian biostratigraphy across the Jurassic-Cretaceous boundary from Northwestern Turkey." *Geodiversitas* Vol.21, No.4, pp. 715-738.
- Miall, A.D.,1978, "Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary." *In: A.D. Miall (Ed), Fluvial Sedimentology Can. Soc. Pet. Geol., Mem.*, Vol.5, pp.597-604.
- Nicosia, U., Conti M.A., Farinacci, A., Altner, D., Koçyiğit, A., 1991, "Western Anatolian Ammonitico Rosso Type sediments. Depositional History and Geodynamic Meaning." *Geologica Romana*, Vol.27, pp. 101-110.
- Okay, AU., Tüysüz, O., 1999, "Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand B, Jolivet L, Horvath F, Ranne M (eds) The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen." *Geological Society London Special Publications*, Vol.156, pp 475-515.
- Okay, A., 1984, "Distribution and characteristics of the Northwest Turkish blueschists." *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, Vol.17, pp. 455-466.
- Santantonio, M., 1993, "Facies associations and evolution of pelagic carbonate platform/basin systems: examples from the Italian Jurassic." *Sedimentology* Vol.40, pp.1039-1067
- Santantonio, M., 1994, "Pelagic Carbonate Platforms in the Geologic Record: Their classification, and sedimentary and paleotectonic evolution." *AAPG Bulletin*, Vol.78, No. 1, pp.122-141.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981, "Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach." *Tectonophysics*, Vol.75, pp.181-241.
- Şengör, A.M.C., 1984, "The Cimmeride orogenic System and the tectonics of Eurasia." *Geological Society of America, Special*, pp.195
- Tucker, M.E., 1990, "Carbonate Sedimentology." *Blackwell Science Publications*, pp.482.
- Varol, B., Gökten, E., 1994, "The facies properties and depositional environments of nodular limestones



and red marly limestones (Ammonitico Rosso) in the Ankara Jurassic sequence, central Turkey." *Terra Nova*, Vol.6, No.1, pp. 64-67.

Vörös, A., 2012, "Episodic sedimentation on a peri-Tethyan ridge through the Middle-Late Jurassic transition (Villany Mountains, southern Hungary)." *Facies* Vol.58, pp.415-443.

Wilson, J.L., 1975, "Carbonate Facies in Geologic History." *Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York*, pp.471.

## STRUCTURAL AND ELECTRONIC PROPERTIES OF $B_{6-n}C_nH_n$ (n=0-6) SERIES UPON THE SUBSTITUTION OF BORON ATOMS BY THE C-H GROUPS: A DENSITY FUNCTIONAL THEORY STUDY

İskender MUZ

Department of Mathematics and Science Education, Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, 50300 Nevşehir,  
Turkey

[iskendermuz@yahoo.com](mailto:iskendermuz@yahoo.com)

(Geliş/Received: 01.12.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 02.02.2019)

**ABSTRACT:** In this study, the structural and energetic properties of  $B_{6-n}C_nH_n$  (n=0-6) series were investigated using Density Functional Theory (DFT) approach. Adiabatic ionization potential (AIP), vertical ionization potential (VIP), adiabatic electron affinity (AEA), vertical electron affinity (VEA), vertical detachment energy (VDE), HOMO-LUMO energy gap ( $E_g$ ) and binding energy ( $E_b$ ) have been investigated at the B3LYP/6-311++G\*\* level of theory and discussed for the most stable isomers. Charge distribution and nucleus independent chemical shift (NICS) analysis were also performed.  $B_2C_4H_4$  and  $C_6H_6$  series are the most stable among considered series by calculating ionization potentials (IPs), electron affinities (EAs) and  $E_g$ . The benzene-like structure is found to be the most stable isomer for n=5 ( $BC_5H_5$ ), and it can be as aromatic as benzene.

**Key Words:** Aromaticity, Carboranes, Density Functional Theory (DFT), Electronic structure, Stability

### C-H Grupları ile Bor Atomlarının Yer Değiştirmesi Sonucunda $B_{6-n}C_nH_n$ (n=0-6) Serilerinin Yapısal ve Elektronik Özellikleri: Bir Yoğunluk Fonksiyonel Teori Çalışması

**ÖZ:** Bu çalışmada  $B_{6-n}C_nH_n$  (n=0-6) serilerinin yapısal ve enerji özellikleri yoğunluk fonksiyonel teorisi kullanılarak araştırıldı. Adyabatik iyonizasyon potansiyeli (AIP), doğrudan iyonizasyon potansiyeli (VIP), adyabatik elektron ilgisi (AEA), doğrudan elektron ilgisi (VEA), doğrudan ayrılma enerjisi (VDE), HOMO-LUMO enerji aralığı ( $E_g$ ) ve bağlanma enerjisi B3LYP/6-311++G\*\* teori seviyesinde incelendi ve en kararlı izomerler tartışıldı. Yük dağılımı ve çekirdekten bağımsız kimyasal kayma analizleri de gerçekleştirildi.  $B_2C_4H_4$  and  $C_6H_6$  serileri IP, EA ve  $E_g$  hesaplamaları sonucunda en kararlı seriler olarak bulunmuştur. Benzen tipi yapı  $BC_5H_5$  (n=5) serisi için en kararlı isomer olarak bulunmuştur ve bu yapı benzen kadar aromatik olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Aromatiklik, Elektronik yapı, Kararlılık, Karboranlar, Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi

## INTRODUCTION

Boron is only the non-metal element of IIIA group in the periodic table and possesses a richness of chemistry second only to carbon (Smith, 1990; Jemmis, 2002). Boron and carbon are capable of forming various stable compounds with hydrogen due to their strong chemical bonding characteristics. Hydrogenated boron-carbon or carborane compounds are of great interest for both experimental and theoretical chemists. Moreover, they have been declared as appropriate pioneers for the formation of carboranes (Williams, 1976; Grimes, 2013). The unique physical and chemical properties of carboranes

have led to using them extensively in materials science (El-Zaria et al., 2011), polymer chemistry (Jiang et al., 1996; McLemore et al., 1999) organometallic and coordination chemistry (Westerhausen et al., 2001; Spokoyny et al., 2011), medicine (Soloway et al., 1998; Barth et al., 2005) and medicinal chemistry (Valliant et al., 2002; Scholz and Hey-Hawkins, 2011) applications.

The benzene-like structures have been attracted due to high resonance stability, nonclassical bonding, aromaticity and the benzene-like reactivity (Galeev and Boldyrev, 2011; Ivanov and Boldyrev, 2012; Ivanov et al., 2012; Muz and Atis, 2016). Recently, the aromaticity and antiaromaticity of some carbon based compounds such as borabenzene, silabenzene and phosphabenzene have been discussed in detail (Galeev and Boldyrev, 2011; Ivanov and Boldyrev, 2012; Ivanov et al., 2012; Muz and Atis, 2016). Moreover, these studies have been concluded that some benzene-like structures exhibit aromatic properties. More interestingly, it was found that the replacement of a phosphorus atom by the C-H group in the  $C_xH_xP_{6-x}$  ( $x=0-6$ ) series cause the transition from three-dimensional (3D) structures to two dimensional (2D) structures (Galeev and Boldyrev, 2011).

The exchange of different group atoms by carbon atom in the carborane compounds provides extra or deficit electron(s). Thus, it can significantly change the structural and electronic properties of the system. In literature, there is a limited number of research on the structural properties of various carborane compounds (Takano et al., 1992; Jemmis et al., 1997; Schleyer and Najafian, 1998; Li, 2017). To the best of our knowledge, there is no study investigating the substitution of a boron atom by the C-H group in the carboranes and their derivatives. Therefore, this study aims to investigate the structural and electronic properties in the  $B_{6-n}C_nH_n$  ( $n=0-6$ ) series upon the replacement of boron atoms by the valence isoelectronic C-H groups. Another motivation is also to detect possible structural transitions in the considered series with the replacement of a boron atom by the C-H group.

## COMPUTATIONAL DETAILS

The low-lying isomers of  $B_{6-n}C_nH_n$  ( $n=0-6$ ) series were performed using density functional theory (DFT). For the geometry optimizations, the low-lying isomers (Dinadayalane et al., 2004) of  $C_6H_6$  stoichiometry were first carried out. Then, the initial geometries of other series were typically constructed by substituting one boron atom by C-H group in  $C_6H_6$  stoichiometry. This procedure continues until each C-H group takes up the boron atom. Thus, new isomers and their permutational isomers were obtained for each series.

The singlet and triplet electronic states of all possible structural configurations for considered series were initially optimized by B3LYP (Becke, 1993) and 3-21G level of theory. To increase the reliability of the calculated results, the low-lying isomers for each series were reoptimized at B3LYP/6-311++G\*\* level of theory. To check the stability of optimized structures of all isomers, the frequency calculations were also performed at the same level of theory. All electronic structure calculations and structural visualizations were performed utilizing the Gaussian 09 (Frisch et al., 2009) and Gauss View 5.0.9 (Dennington et al., 2009) programs, respectively.

## RESULTS and DISCUSSIONS

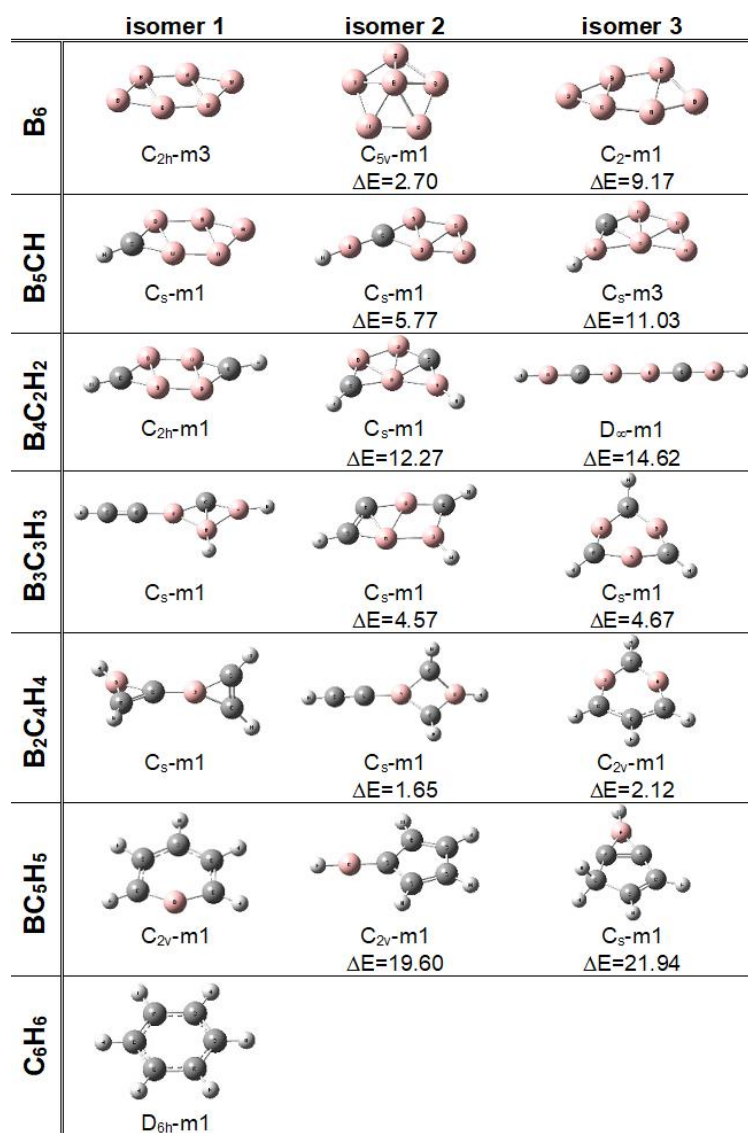
In this study, the substitution of B atoms by the C-H groups in the  $B_{6-n}C_nH_n$  ( $n=0-6$ ) series is investigated at B3LYP/6-311++G\*\* level of theory. The three low-lying isomers were shown in Figure 1. In addition, the low-lying isomers and their relative energies ( $\Delta E < 40$  kcal/mol) were available in Supporting Information (Figure S1). Note that there is no imaginary frequency for optimized structures reported in this study.

***B<sub>6</sub> Isomers.*** According to calculations for singlet (m1) and triplet (m3) ground states, the triplet  $B_6$  structure is the most stable isomer with planar geometry and  $C_{2h}$  point group symmetry (see Figure 1). Moreover, it has 2.70 kcal/mol lower energy than the pentagonal pyramidal geometry (second isomer) with singlet state and  $C_{5v}$  point group symmetry. The third isomer is very like the first isomer with quasi-planar geometry and  $C_2$  point group symmetry, but it has 9.17 kcal/mol higher energy than the

global minimum. These three isomers were previously reported by Alexandrova et al. (Alexandrova et al., 2003). According to their calculations at B3LYP/6-311+G\* level of theory, the second and third isomers have 1.2 and 9.1 kcal/mol higher energy than the global minimum, respectively. Therefore, the results from this current study were reinforced by findings in the literature.

**B<sub>5</sub>CH Isomers.** The global minimum of B<sub>5</sub>CH is very like the first isomer of B<sub>6</sub>. Here, only difference is the substitution of one B atom by the C-H group. The second isomer with singlet state and C<sub>s</sub> point group symmetry has 5.77 kcal/mol higher energy than the most stable isomer. The triplet B<sub>5</sub>CH structure is found to be the third isomer, and it has 11.03 kcal/mol higher energy than the global minimum.

**B<sub>4</sub>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> Isomers.** The first isomer is clearly reminiscent of the global minimum of B<sub>5</sub>CH, and it has a planar geometry with C<sub>2h</sub> point group symmetry. Here, the second isomer grows from the third isomer of B<sub>5</sub>CH. Additionally, the third isomer prefers a linear geometry with D<sub>∞h</sub> point group symmetry. The second and third isomers have 12.27 and 14.62 kcal/mol higher energy than the global minimum, respectively.



**Figure 1.** For B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) series, the three low-lying isomers with relative energies (kcal/mol) at B3LYP/6-311++G\*\* level of theory.

**B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>H<sub>3</sub> Isomers.** In this series, the global minimum has a different geometry than the previous series. The second isomer grows from the global minimum of the B<sub>4</sub>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>. It is also now higher (by 4.57 kcal/mol) energy than the most stable isomer. The third isomer has 4.67 kcal/mol above the most stable

isomer. The second and third isomers were very close to each other as energy. The third isomer of the  $B_3C_3H_3$  series, benzene-like structure, also grows from the fifth isomer of the  $B_4C_2H_2$  by replacing B atom by the C-H group (see Figure S1, Supporting Information).

**$B_2C_4H_4$  Isomers.** In this series, the most stable isomer has  $C_s$  point group symmetry with singlet electronic ground state, and it has 1.65 kcal/mol lower energy than the second isomer. The second isomer is very like global minimum in the  $B_3C_3H_3$  series. The third isomer of this series, benzene-like structure, has also a planar geometry with  $C_{2v}$  point group symmetry. It is now only higher (by 2.12 kcal/mol) energy than the global minimum. Obviously, it grows from the three isomers of the  $B_3C_3H_3$  by replacing one B atom by the C-H group. In here and subsequent series, there is no structure like the most stable isomer of  $B_6$ ,  $B_5CH$  and  $B_4C_2H_2$  series as well as the second isomer of  $B_3C_3H_3$  series.

**$BC_5H_5$  Isomers.** The lowest-lying isomer of this series is the monoborabenzene structure with planar geometry ( $C_{2v}$  point group symmetry). The global minimum, benzene-like structure, is now more stable than the second isomer by 19.60 kcal/mol. Apparently, the substitution of five B atoms by five C-H groups in triplet planar structure (the global minimum of  $B_6$ ) switched the relative stabilities of benzene-like and other structures. The third isomer has 21.94 kcal/mol above the most stable isomer.

**$C_6H_6$  Isomers.** A total of 215 isomers on the potential energy surface for  $C_6H_6$  series were reported by Dinadayalane et al. They were provided that benzene structure is lower in energy than other isomers. In our previous paper, it is also reported as found the most stable isomer with planar  $D_{6h}$  point group symmetry.<sup>15</sup> For this reason, the most stable isomer is presented in this study.

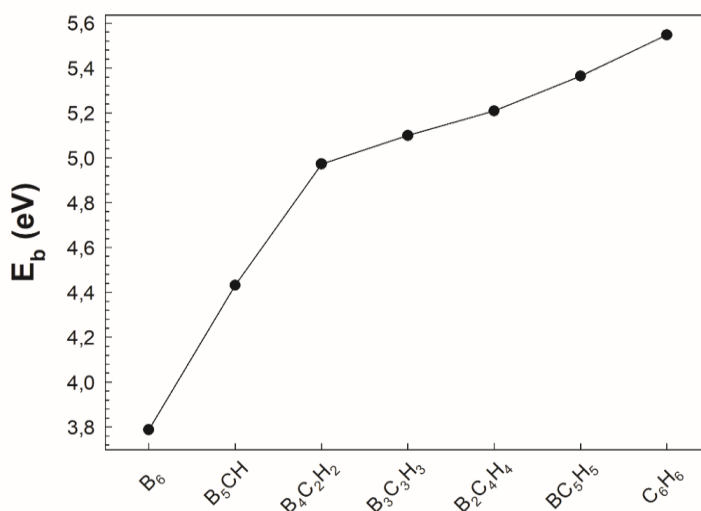
To examine the structural stabilities of  $B_{6-n}C_nH_n$  ( $n=0-6$ ) series, the binding energy per atom ( $E_b$ ) is calculated by taking into account the most stable isomers. The binding energy of a structure is also a measure of its relative stability.  $E_b$  is defined as:

$$E_b(B_{6-n}C_nH_n)=[(6-n)E(B)+(n)E(C)+(n)E(H)-E(B_{6-n}C_nH_n)]/(n+6) \quad (1)$$

where  $n$  is from 0 to 6 the cluster-size,  $E(B_{6-n}C_nH_n)$  is the cluster energy.  $E(B)$ ,  $E(C)$  and  $E(H)$  are the energies of atomic boron, carbon and hydrogen, respectively. Figure 2 shows the binding energy per atom as a function of cluster-size. The values were also summarized in Table 1. The  $E_b$  increases with the substitution of B atoms by the C-H groups in  $B_{6-n}C_nH_n$  ( $n=0-6$ ) series. The  $E_b$  values of  $B_2C_4H_4$  and  $BC_5H_5$  series are 0.34 and 0.19 eV lower than that of  $C_6H_6$  (5.55 eV) with 5.21 and 5.36 eV, respectively. However, the stability of  $B_6$  is the lowest with 3.79 eV.

**Table 1.** Binding energy per atom ( $E_b$ ), adiabatic ionization potential (AIP), vertical ionization potential (VIP), adiabatic electron affinity (AEA), vertical electron affinity (VEA), vertical detachment energy (VDE) and HOMO-LUMO energy gap ( $E_g$ ). All values are in eV.

Structure	$E_b$	AIP	VIP	AEA	VEA	VDE	$E_g$
$B_6$	3.79	8.41	9.12	2.26	2.19	2.71	2.26
$B_5CH$	4.43	8.40	8.59	2.17	2.54	2.85	2.51
$B_4C_2H_2$	4.97	8.87	9.08	0.48	0.86	1.22	4.62
$B_3C_3H_3$	5.10	8.50	8.98	0.59	0.80	1.29	4.40
$B_2C_4H_4$	5.21	8.95	9.70	-0.67	-0.32	0.31	6.72
$BC_5H_5$	5.36	8.24	8.36	0.09	0.82	1.55	4.35
$C_6H_6$	5.55	9.13	9.28	-0.60	-0.60	-0.60	6.60



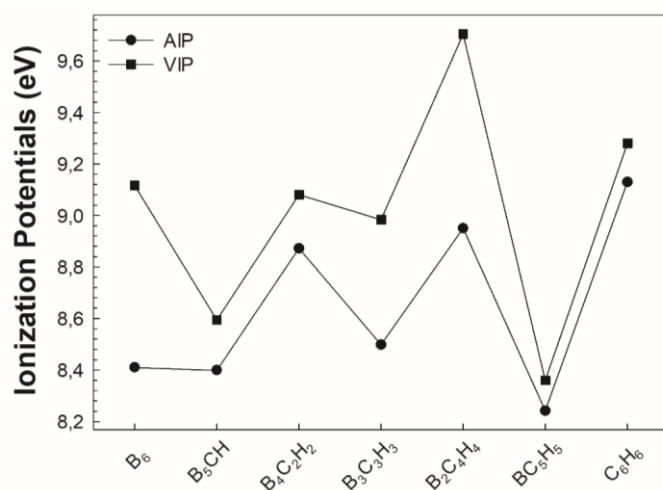
**Figure 2.** The binding energy per atom of B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) series.

The capability of clusters to obtain or remove an electron is investigated by calculations of their ionization potentials and electron affinities. To examine the electronic properties of B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) series, the adiabatic ionization potential (AIP), vertical ionization potential (VIP), adiabatic electron affinity (AEA), vertical electron affinity (VEA), vertical detachment energy (VDE) and HOMO-LUMO energy gap ( $E_g$ ) were calculated by considering the most stable isomers. Ionization potentials (IPs) and electron affinities (EAs) are defined as follows:

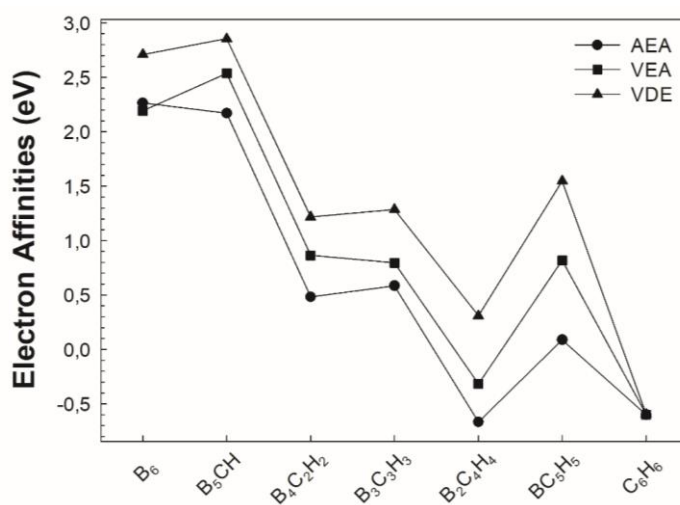
$$IPs(B_{6-n}C_nH_n)=[E(B_{6-n}C_nH_n)^{cation}]-[E(B_{6-n}C_nH_n)^{neutral}] \quad (2)$$

$$EAs(B_{6-n}C_nH_n)=[E(B_{6-n}C_nH_n)^{neutral}]-[E(B_{6-n}C_nH_n)^{anion}] \quad (3)$$

The ionization potential (IPs) parameters such as AIP and VIP are calculated separately from Equation (2). AIP is the energy difference between cationic and neutral structures at their respective equilibrium geometries. VIP is the energy difference between the ground state of neutral and cationic structures, at optimized geometry of the neutral. The AIP and VIP are drawn in Figure 3 and tabulated Table 1. As seen in Figure 3, the AIP and VIP exhibit even-odd oscillations with maxima for even n. The ionization potentials show that the stability of odd-n series is lower than their neighboring even-n series. Note that VIP values are higher than the AIP values because of orbital relaxation.

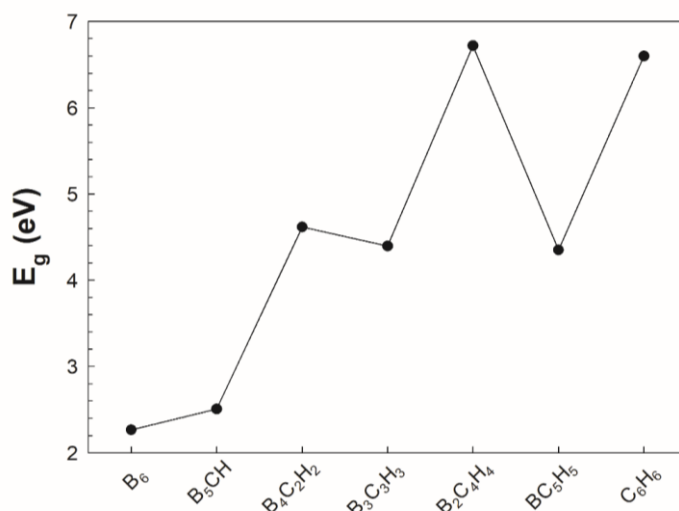


**Figure 3.** Size dependence of adiabatic ionization potential (AIP) and vertical ionization potential (VIP) for the most stable isomers of the B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) series.



**Figure 4.** Size dependence of adiabatic electron affinity (AEA), vertical electron affinity (VEA) and vertical detachment energy (VDE) for the most stable isomers of the B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) series.

On the other hand, the electron affinities (EAs) parameters such as AEA, VEA and VDE are calculated separately from Equation (3). AEA is the energy difference between anionic and neutral structures at their respective equilibrium geometries. VEA is the energy difference between the ground state of neutral and anionic structures, at optimized geometry of the neutral. VDE is the energy difference between the ground state of neutral and anionic structures, at optimized geometry of the anion. The AEA, VEA and VDE are illustrated in Figure 4 and listed Table 1. The AEA, VEA and VDE decrease generally with the substitution of B atoms by the C-H groups in B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) series, and they exhibit even-odd oscillations with maxima for odd n (see in Figure 4).



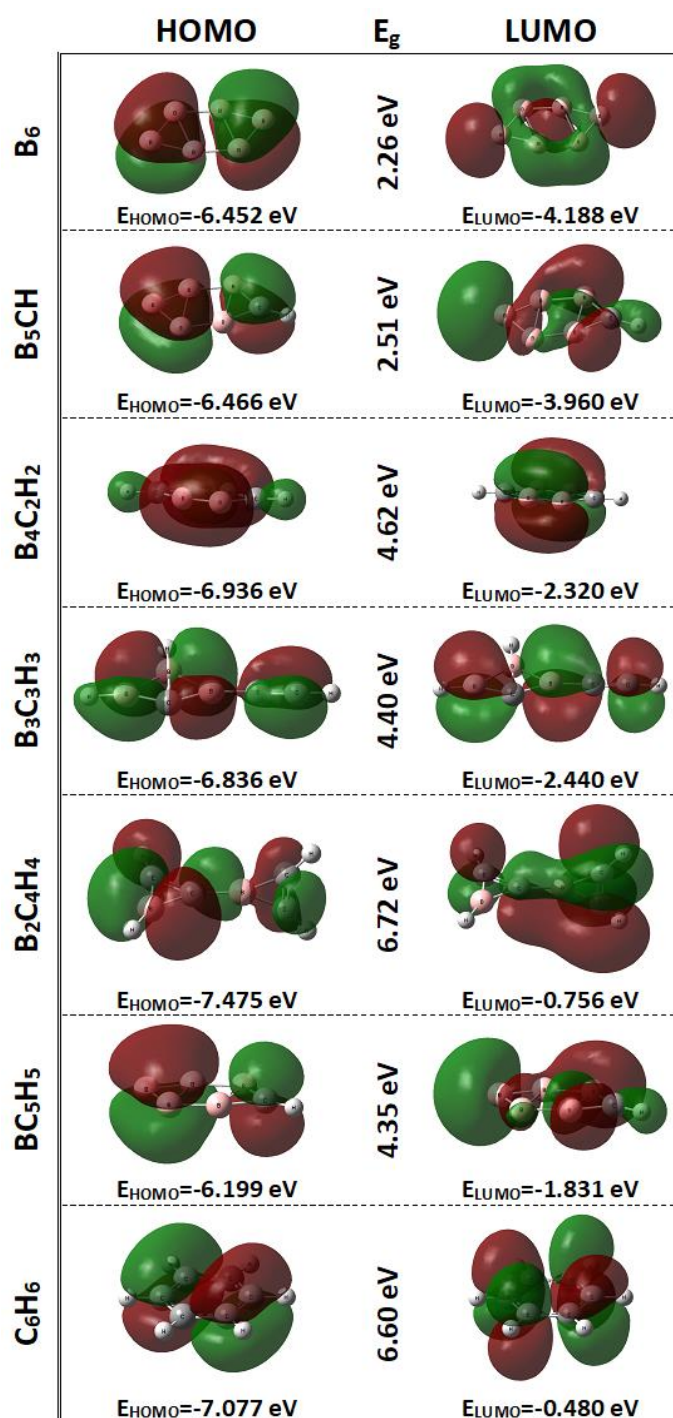
**Figure 5.** Variation of the HOMO–LUMO gaps for the most stable isomers of the B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) series.

Another way of ensuring the stability criteria is to calculate the difference energy between the highest occupied molecular orbital (HOMO) and the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO). Additionally, the structures must have large HOMO-LUMO energy gap ( $E_g$ ) and high ionization potential (IP). The  $E_g$  is illustrated in Figure 5 and tabulated in the Table 1. As seen in Figure 5, the  $E_g$  increases with the substitution of B atoms by the C-H groups, and it exhibits even-odd oscillations with maxima for even  $n$  (except  $n=1$ ). B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) series with even- $n$  have larger  $E_g$  and higher absolute value of IPs. Therefore, the chemical stabilities of even- $n$  series are stronger than their neighboring odd- $n$  series. It is consistent with the results from Figure 3. Since the most stable isomer of B<sub>6</sub> structure (for  $n=1$ ) has open shell (triplet state) electronic configuration, its chemical stability is weaker than B<sub>5</sub>CH structure (for  $n=2$ ), which has close shell (singlet state) electronic configuration. Note that the B<sub>2</sub>C<sub>4</sub>H<sub>4</sub> and C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> series are the most stable among considered series by calculating IPs, EAs and  $E_g$ .

The HOMO and LUMO pictures of the B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) series are presented in Figure 6. The HOMO and LUMO localizations are found to be nearly symmetric over the most stable isomers.

The natural population analysis (NPA) and electro-static potential (ESP) charge distributions are also investigated in this study. The atomic charge distributions of the B, C and H atoms in the B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) series are shown in Figure 7(a-b). The charges on B and H atoms are positive in range of  $n=1-5$ , but C atoms are negative. Therefore, charges are transferred from B and H atoms to C atoms. Additionally, all the charge is on the H atoms for C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> series. Charges are transferred from H to C. The B atom acts generally as an electron donor for B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=1-5) series, whereas, the C atom acts as an electron acceptor.

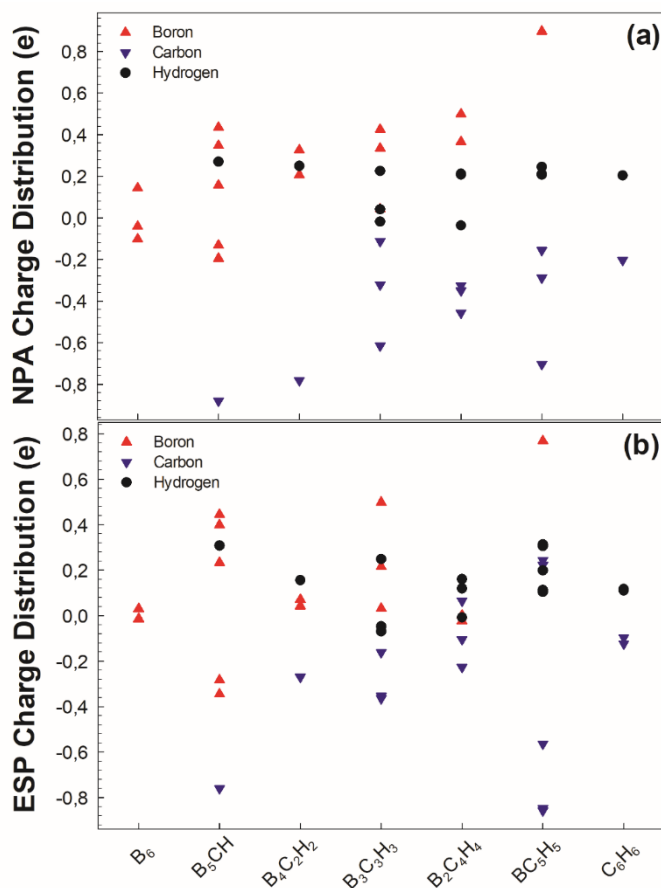




**Figure 6.** HOMO and LUMO pictures of the  $B_{6-n}C_nH_n$  ( $n=0-6$ ) series. Green and red colors represent the positive and negative isosurfaces for HOMO and LUMO, respectively.

**Table 2.** NICS and NICS<sub>zz</sub> values for benzene and benzene-like structure. All values in ppm.

Distance (Å)	BC <sub>5</sub> H <sub>5</sub>		C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	
	NICS	NICS <sub>zz</sub>	NICS	NICS <sub>zz</sub>
0.0	-12.292	-17.978	-8.065	-14.492
0.2	-12.260	-19.009	-8.469	-16.264
0.4	-12.091	-21.501	-9.399	-20.571
0.6	-11.655	-24.125	-10.257	-25.213
0.8	-10.884	-25.715	-10.575	-28.336
1.0	-9.825	-25.808	-10.231	-29.252
1.2	-8.600	-24.579	-9.371	-28.244
1.4	-7.343	-22.494	-8.232	-25.998
1.6	-6.159	-20.017	-7.025	-23.170
1.8	-5.107	-17.487	-5.888	-20.228
2.0	-4.209	-15.105	-4.889	-17.444
2.2	-3.463	-12.970	-4.047	-14.947
2.4	-2.854	-11.110	-3.354	-12.777
2.6	-2.362	-9.519	-2.792	-10.926
2.8	-1.966	-8.172	-2.337	-9.363
3.0	-1.646	-7.037	-1.969	-8.051
3.2	-1.388	-6.082	-1.670	-6.950
3.4	-1.179	-5.279	-1.425	-6.026
3.6	-1.008	-4.602	-1.225	-5.249
3.8	-0.868	-4.029	-1.059	-4.592

**Figure 7.** NPA (a) and ESP (b) charge distributions of B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0-6) series.

The nucleus independent chemical shift (NICS) analysis is also performed to interpret whether the benzene-like structures are aromatic. In planar structures, chemical shielding or absolute magnetic shielding can be computed at ring centers, and at point above (Schleyer et al., 1996). In this study, the

NICS and NICS<sub>zz</sub> values calculated for benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) and benzene-like (BC<sub>5</sub>H<sub>5</sub>) structures in range of 0–3.8 Å (at ring centers and at point above) are tabulated in Table 2. According to NICS analyses, the BC<sub>5</sub>H<sub>5</sub> structure has very high negative values. This result also indicates that BC<sub>5</sub>H<sub>5</sub> structure can be an aromatic structure.

## CONCLUSIONS

In this work, the substitution of boron atoms by the valence isoelectronic C-H groups in the B<sub>6-n</sub>C<sub>n</sub>H<sub>n</sub> (n=0–6) series is investigated within density functional theory DFT-B3LYP/6-311++G\*\* level of theory. All possible isomers for each series have been searched considering the singlet and triplet electronic ground states. The most stable isomers except B<sub>6</sub> have singlet electronic ground state. According to calculations, the substitution of the B atoms by the C-H groups obviously contributes to strengthen the stability of considered series. The IPs, EAs and E<sub>g</sub> results show that the B<sub>2</sub>C<sub>4</sub>H<sub>4</sub> and C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> series are the most stable among considered series. Additionally, the E<sub>b</sub> values of B<sub>2</sub>C<sub>4</sub>H<sub>4</sub> and BC<sub>5</sub>H<sub>5</sub> series are 0.34 and 0.19 eV lower than that of C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (5.55 eV) with 5.21 and 5.36 eV, respectively. The global minimum of BC<sub>5</sub>H<sub>5</sub> structure is a stable planar structure with C<sub>2v</sub> point group symmetry. According to NICS analysis, the planar BC<sub>5</sub>H<sub>5</sub> structure has very high negative values, and thus it can be aromatic as character. In addition, it can qualify to be an aromatic compound as much as the benzene molecule.

Structural stability of compounds allows their presence in nature and afterwards to synthesize them in experiments. Therefore, I hope that this study will help guide future efforts aimed at synthesizing novel compounds based on carboranes and their derivatives.

## REFERENCES

- Alexandrova AN, Boldyrev AI, Zhai HJ, et al (2003) Structure and bonding in B<sub>6</sub>(-) and B<sub>6</sub>: Planarity and antiaromaticity. *J Phys Chem A* 107:1359–1369. doi: 10.1021/jp0268866
- Barth RF, Coderre JA, Vicente MGH, Blue TE (2005) Boron neutron capture therapy of cancer: Current status and future prospects. *Clin Cancer Res* 11:3987–4002. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-05-0035
- Becke AD (1993) A new mixing of hatree-fock and local density functional theories. *J Chem Phys* 98:1372–1377. doi: 10.1063/1.464304
- Dennington R, Keith TA, Millam JM (2009) GaussView 5.0.9
- Dinadayalane TC, Priyakumar UD, Sastry GN (2004) Exploration of C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> potential energy surface: A computational effort to unravel the relative stabilities and synthetic feasibility of new benzene isomers. *J Phys Chem A* 108:11433–11448. doi: 10.1021/jp0467696
- El-Zaria ME, Aarii H, Nakamura H (2011) m-Carborane-Based Chiral NBN Pincer-Metal Complexes: Synthesis, Structure, and Application in Asymmetric Catalysis. *Inorg Chem* 50:4149–4161. doi: 10.1021/ic2002095
- Frisch MJ, Trucks GW, Schlegel HB, Scuseria GE, Robb MA, Cheeseman JR, Scalmani G, Barone V, Mennucci B, Petersson GA, Nakatsuji H, Caricato M, Li X, Hratchian HP, Izmaylov AF, Bloino J, Zheng G, Sonnenberg JL, Hada M, Ehara M, Toyota K, Fukuda R, Hasegawa J, Ishida M, Nakajima T, Honda Y, Kitao O, Nakai H, Vreven T, Montgomery JA, Peralta JE, Ogliaro F, Bearpark M, Heyd JJ, Brothers E, Kudin KN, Staroverov VN, Kobayashi R, Normand J, Raghavachari K, Rendell A, Burant JC, Iyengar SS, Tomasi J, Cossi M, Rega N, Millam JM, Klene M, Knox JE, Cross JB, Bakken V, Adamo C, Jaramillo J, Gomperts R, Stratmann RE, Yazyev O, Austin AJ, Cammi R, Pomelli C, Ochterski JW, Martin RL, Morokuma K, Zakrzewski VG, Voth GA, Salvador P, Dannenberg JJ, Dapprich S, Daniels AD, Farkas Foresman JB, Ortiz JV, Cioslowski J, Fox DJ (2009) Gaussian 09, Revision B.01.
- Galeev TR, Boldyrev AI (2011) Planarity takes over in the C<sub>x</sub>H<sub>x</sub>P<sub>6-x</sub> (x=0–6) series at x=4. *Phys Chem Chem Phys* 13:20549–20556. doi: 10.1039/c1cp21959f
- Grimes RN (2013) Synthesis and serendipity in boron chemistry: A 50 year perspective. *J Organomet Chem* 747:4–15. doi: 10.1016/j.jorganchem.2013.04.018

- Ivanov AS, Boldyrev AI (2012) Si<sub>6</sub>-nC<sub>n</sub>H<sub>6</sub> (n=0-6) series: when do silabenzene become planar and global minima? *J Phys Chem A* 116:9591–9598. doi: 10.1021/jp307722q
- Ivanov AS, Bozhenko K V, Boldyrev AI (2012) Peculiar Transformations in the C<sub>x</sub>H<sub>x</sub>P<sub>4-x</sub> (x=0-4) Series. *J Chem Theory Comput* 8:135–140. doi: 10.1021/ct200727z
- Jemmis ED, Balakrishnarajan MM, Pancharatna PD (2002) Electronic requirements for macropolyhedral boranes. *Chem Rev* 102:93–144. doi: 10.1021/cr990356x
- Jemmis ED, Kiran B, Coffey D (1997) Ab initio studies on disubstituted closo-icosahedral heteroboranes, X<sub>2</sub>B<sub>10</sub>H<sub>10</sub> (X=CH, SiH, N, P, and Sb). *Chem Berichte-Recueil* 130:1147–1150. doi: 10.1002/cber.19971300818
- Jiang W, Chizhevsky IT, Mortimer MD, et al (1996) Carboracycles: Macrocyclic compounds composed of carborane icosahedra linked by organic bridging groups. *Inorg Chem* 35:5417–5426. doi: 10.1021/ic960354k
- Li X (2017) Structural, electronic and spectral properties of carborane-containing boron dipyrromethenes (BODIPYs): A first-principles study. *Spectrochim Acta Part A-Molecular Biomol Spectrosc* 185:149–154. doi: 10.1016/j.saa.2017.05.047
- McLemore DK, Dixon DA, Strauss SH (1999) Density functional theory and fluorocarboranes I. Trends in B-H and B-F distances and dissociation energies for CB<sub>11</sub>H<sub>12</sub>-nFn<sup>-</sup> anions (n=0, 1, 6, 11). *Inorganica Chim Acta* 294:193–199. doi: 10.1016/S0020-1693(99)00285-6
- Muz I, Atis M (2016) Structural transformations in the carborane series: C<sub>n</sub>B<sub>6</sub>-nH<sub>6</sub> (n=0-6) upon substitution of boron by carbon. *Inorganica Chim Acta* 453:626–632. doi: 10.1016/j.ica.2016.09.035
- Schleyer P V, Maerker C, Dransfeld A, et al (1996) Nucleus-independent chemical shifts: A simple and efficient aromaticity probe. *J Am Chem Soc* 118:6317–6318. doi: 10.1021/ja960582d
- Schleyer P V, Najafian K (1998) Stability and three-dimensional aromaticity of closo-monocarborane anions, CB<sub>n</sub>-1H<sub>n</sub><sup>-</sup>, and closo-dicarboranes, C<sub>2</sub>B<sub>n</sub>-2H<sub>n</sub>. *Inorg Chem* 37:3454–3470. doi: 10.1021/ic980110v
- Scholz M, Hey-Hawkins E (2011) Carbaboranes as Pharmacophores: Properties, Synthesis, and Application Strategies. *Chem Rev* 111:7035–7062. doi: 10.1021/cr200038x
- Smith K (1990) Synthetic Chemistry-Boron Molecular Gymnastics. *Nature* 348:115–116. doi: 10.1038/348115b0
- Soloway AH, Werner Tjarks, Beverly A. Barnum, et al (1998) The Chemistry of Neutron Capture Therapy. *Chem Rev* 98:1515–1562. doi: 10.1021/cr941195u
- Spokoyny A ~M., Machan C ~W., Clingerman D ~J., et al (2011) A coordination chemistry dichotomy for icosahedral carborane-based ligands. *Nat Chem* 3:590–596. doi: 10.1038/nchem.1088
- Takano K, Izuho M, Hosoya H (1992) Abinitio Molecular-Orbital Study of Electronic-Structures of Closo-Borane Anions B<sub>n</sub>H<sub>n</sub><sup>2-</sup> and Closo-Carboranes C<sub>2</sub>b<sub>n</sub>-2h<sub>n</sub>. *J Phys Chem* 96:6962–6969. doi: 10.1021/j100196a021
- Valliant JF, Guenther KJ, King AS, et al (2002) The medicinal chemistry of carboranes. *Coord Chem Rev* 232:173–230. doi: 10.1016/S0010-8545(02)00087-5
- Westerhausen M, Guckel C, Schneiderbauer S, et al (2001) The first barium-carborate complex: Synthesis and structural investigation. *Angew Chemie-International Ed* 40:1902–1904. doi: 10.1002/1521-3773(20010518)40:10<1902::AID-ANIE1902>3.0.CO;2-V
- Williams RE (1976) Coordination Number Pattern Recognition Theory of Carborane Structures\*. In: Emeléus HJ, Sharpe AG (eds). Academic Press, pp 67–142



## KARMAŞIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ TABANLI YAPAY SİNİR AĞLARI İLE YÜZ ALGILAMA

<sup>1</sup>Gülden ELEYAN, <sup>2</sup>Ziya TELATAR

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Avrasya Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye

<sup>1</sup>gulden.eleyan@avrasya.edu.tr, <sup>2</sup>telatar@ankara.edu.tr

(Geliş/Received: 08.02.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 27.08.2018)

**ÖZ:** Bu çalışmada yüz algılama için Gabor dalgacık dönüşümleri ve Çift Ağaç dalgacık dönüşümleri kullanılarak öznitelik çıkarımı yapılmıştır. Sınıflandırma basamağında ileri beslemeli yapay sinir ağları kullanılmıştır. Önerilen algoritmaların ilkinde, sinir ağlarını eğitmek için Çift Ağaç öznitelik vektörleri kullanılırken, ikincisinde sinir ağlarının eğitiminde Gabor öznitelik vektörleri kullanılmaktadır. Önerilen üçüncü algoritma ise ilk iki algoritmanın algı sonuçlarının OR mantık işlemi ile birleştirilmesinden oluşmaktadır. Sistemin başarımı yanlış algı oranının da hesaba katıldığı üç metrik ile hesaplanmıştır. MIT+CMU, FRAV2D, BioID, BANCA veri tabanları üzerinde simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Gabor dalgacık vektörlerinin boyutları farklı oranlara indirgenerek işlem zamanı ve performans üzerindeki etkileri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çift ağaç dalgacık dönüşümü, Gabor dalgacık dönüşümü, Sinir ağları, Yüz algılama

### Face Detection in Image Frames and Matching Through Face Database

**ABSTRACT:** In this study, feature extraction is performed using Gabor wavelet transforms and Dual Tree wavelet transforms for face detection. Artificial neural networks with feed forward are used in the classification step. In the first of the proposed algorithms, the Dual Tree feature extraction vectors are used to train the neural networks, while in the second proposed algorithm, the Gabor feature extraction vectors are used in the neural network training. The proposed third algorithm consists of combining the perception results of the first two algorithms with OR logic operation. The performance calculation of the system is realized with three metrics in which the wrong perception rate is included in the account. Simulations were performed on MIT + CMU, FRAV2D, BioID, BANCA databases. The dimensions of the Gabor wavelet vectors are reduced to different ratios and the effects on the processing time and performance are examined.

**Key Words:** Dual-Tree Wavelets Transform, Face Detection, Gabor Wavelets Transform, Neural Network.

### GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir yüz algılama sistemi görüntünün öznitelik dizisini ayıran, bu öznitelik dizisini veri tabanındaki diğer öznitelik dizileriyle karşılaştıran ve bu karşılaştırma sonucuna göre karar veren bir yapıya sahiptir. Altı birimden oluşan sistem içeriğinde: veri edinim birimi, alt örnekleme birimi, önışleme birimi, öznitelik çıkarım birimi, sınıflandırma birimi ve çözümleme birimi yer almaktadır.

Veri edinim biriminde bir görüntünün ham bilgisi, uygun bir kamera veya tarayıcı ile elde edilmektedir. Kazanç birimi, insan makine ara yüzünü tanımlar. Bundan dolayı, yüz algılama sisteminin performansı için çok önemlidir. Kullanılan kameranın teknik özellikleri de edinilen veri kalitesi

açısından çok önemlidir. Öznitelik çıkarım biriminde, ön işlemeden sonra yüze ait özellikleri ifade eden öznitelikler çıkarılır. Örneğin, bazı yüz algılama sistemlerinde bir yüz görüntüsündeki gözler, burun ve ağız arasındaki mesafe ve konum öznitelik çıkarım birimi ile belirlenir. Eğitim sırasında, bu öznitelik dizileri veri tabanında saklanır ve şablon olarak adlandırılır. Yüz şablonu tek bir görüntüden de seçilebilir, birden çok görüntü işlenerek de oluşturulabilir. Genellikle yüz algılama sistemleri birden çok şablon ile eğitilir, yapay olarak orijinal yüz görüntüsünden oluşturulur. Sınıflandırma biriminde karşılaştırma sonuçları oluşturmak için depolanmış şablonlar ile çıkarım yapılmış öznitelikler karşılaştırılır. Yüz tabanlı biyometrik bir sistemde, şablon dizileri ve test görüntüsü arasındaki en küçük uzaklık tespit edilir ve benzerlik sonuçları kaydedilir. Çözümleme (Arbitration) biriminde farklı boyutlardaki görüntülerin benzerlik sonuçları birleştirilir daha sonra yanlış olan algılamalar silinir.

Yüz algılama ve izleme için birçok yaklaşım ve algoritma önerilmiştir. Genel olarak yüz algılama yöntemleri dört kategoriye ayrılmıştır: Bilgi tabanlı yöntemler, Öznitelik tabanlı yöntemler, Şablon eşleme yöntemleri, Görüntü tabanlı yöntemler.

Bilgi tabanlı yöntemler yüze ait bilgilerden elde edilen önceden tanımlanmış kurallara dayanarak geliştirilmiştir. Örneğin, bir görüntüdeki yüz genellikle birbirine simetrik şekilde duran gözler, bir burun ve bir ağız olarak görünür. Öznitelikler arasındaki ilgili mesafe ve konum aralarındaki ilişkiyi ifade eder. Test edilecek görüntüdeki yüz olma ihtimali olan bölge, sökonusu kodlanmış kurallara göre tespit edilir. Yang ve diğ. (1994) bu yöntem ile görüntülerde yüz tespiti yapmışlardır.

İnsan gözü, yüzleri farklı pozlar ve farklı aydınlanma koşullarında kolayca algılayabilir. Tüm bu farklı koşulların yanında değişmeyen nitelikler de olmalıdır. Bazı yöntemler, ilk olarak kenar algılayıcılar ile kaş, göz, burun, ağız, ve saç çizgisini algılar ve daha sonra yüzü bularak teyit eder. Ten rengi de özellik olarak kullanılabilir. Çıkarım yapılmış özniteliklere bağlı olarak, aralarındaki ilişkiyi tanımlamak ve yüzün varlığını kanıtlamak için bir istatistiksel model kurulur. Öznitelik tabanlı algoritmelerde karşılaşılan bir problem görüntü özniteliklerinin aydınlanma, gürültü ve kapanmalara bağlı olarak bozulmaya uğramalarıdır. Özniteliklerin sınırları gölgelerin güçlü kenarlar oluşturmasına bağlı olarak belirsizleşir. Bu durum da algoritmaların yetersiz kalmasına sebep olur.

Şablon eşleme yöntemlerinde, standart bir ön cephe yüz şablonu önceden tanımlanır veya bir fonksiyon ile ifade edilir. Bir test görüntüsünün ilinti değerleri, standart bir şablon üzerinde; yüz hatları, göz, burun ve ağız için birbirinden bağımsız olarak hesaplanır. İlinti değerlerine dayanarak yüz olup olmadığına karar verilir. Bu yöntemin uygulaması kolaydır. Fakat buna rağmen ölçek, poz, ve şekil değişikliklerine bağlı olarak algılama başarısı düşmektedir.

Çoklu çözünürlük, çoklu ölçek, alt şablonlar ve biçim değiştirebilen şablonların kullanılması ile değişmeyen ölçeklerin elde edilip ön cephe yüzlerinin şekil şablonuna dayalı bir yöntem ile bulunmasına dayalı önerdiği algoritmaya göre, test edilecek görüntülerden süzgeçler ile detaylar çıkarılmaktadır ve yüzün yerleştirilmesinden sonra yüz ile ilgili özniteliklerin yerleştirilmesi için birkaç kez uygulanmaktadır (Türkeç 2007).

Görüntü tabanlı yöntemlerde yüz görüntülerinin ve yüz olmayan görüntülerin özniteliklerinin bulunması için makine öğrenimi ve istatistiksel analiz teknikleri kullanılır. Tsai ve diğ. (2006) Özyüzlerin (Turk ve Petland 1991) yüz algılama için kullanıldığını bildirmişlerdir. Özyüz uzayı, sınıflandırma için sinir ağlarının uygulanmasından önce öznitelik çıkarımı için kullanılmıştır. Rowley (1998)'nin yüz algılama konusu için yapay sinir ağlarını kullandığı çalışması, diğer araştırmacılar için bir referans olmuştur.

Destek Vektör Makinaları, (SVM) yüz algılama için kullanılmış bir diğer yöntemdir (Shah 2012, Ratsch ve diğ., 2004). Gerçek zamanlı çalışan SVM tabanlı bir yüz tanıma sistemi, kullanıcının yüz özelliklerini kullanmaktadır (Hui Lin ve diğ., 2016). Schneiderman ve Kanade (2000) 3B nesne algılama için kullanılan istatistiksel bir yöntem önermişlerdir. Liu (2003) Bayes ayrıştırma özniteliklerinin kullanıldığı bir yöntem önermiştir.

Yüz algılama konusunda dalgacıkların (wavelets) kullanıldığı pekçok çalışma mevcuttur. Huang ve diğ. (2005) gabor dalgacıklar kullanırken, ( Seok ve diğ., 2006) heterojen yüz tanıma için tek saklı katmana sahip Gabor dalgacıkları kullanmışlardır. Nanni ve Lumini (2007) radyal tabanlı fonksiyonlar

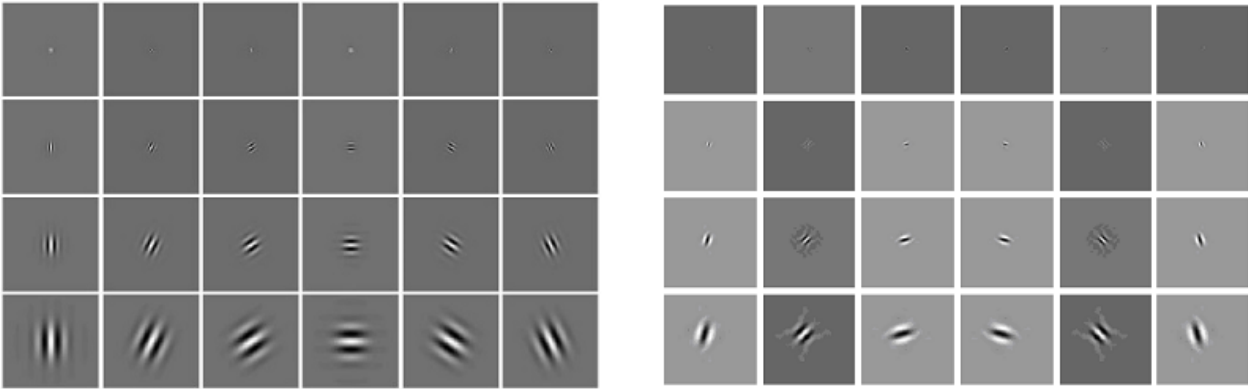
(radial basis function) ve destek vektör makineleri (SVM) ile yüz algılama gerçekleştirmişlerdir. (Froba ve Ernest 2004)'de ise Geliştirilmiş Census Dönüşümü (GCD) kullanılmaktadır.

#### MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Bu bölümde, önerilen yöntemler ve kullanılan algoritma detayları ile anlatılarak eğitim veritabanının hazırlanış şekli ile ilgili bilgi verilmiştir. Önışleme basamağında, algoritmanın çalışma süresini kısaltan öntarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yüz olma olasılığının yüksek olduğu alanların seçilmesi ve test görüntüsünün geri kalan kısımlarının yok sayılması esasına dayanan bu işlemden sonra Gabor ve Çift Ağaç karmaşık dalgacıklar öznelik vektörleri çıkarılmış ve sınıflandırma için bu öznelikler yapay sinir ağlarının girişine beslenmiştir.

#### Gabor Dalgacık Dönüşümü (Gabor Wavelet Transform)

Gabor dalgacıkları (GWT), istenilen her yönde mükemmel seçiciliğe sahip olacak şekilde ayarlanabilir. Aynı yönde sıralanmış özelliklere karşı güçlü cevap verirken diğer yönlerde karşı cevabı zayıftır. Kayma ve dönmelere karşı değişmeme özelliği, başarılı olmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Yüz görüntülerinde, yerel özelliklerin doğru ve eksiksiz olarak elde edilmesi için uzamsal frekans analizi yapılması gereklidir. Gabor fonksiyonları, uzamsal ayrışma ve frekans ayrışması arasında en iyi şekilde denge kurulmasını sağlar.

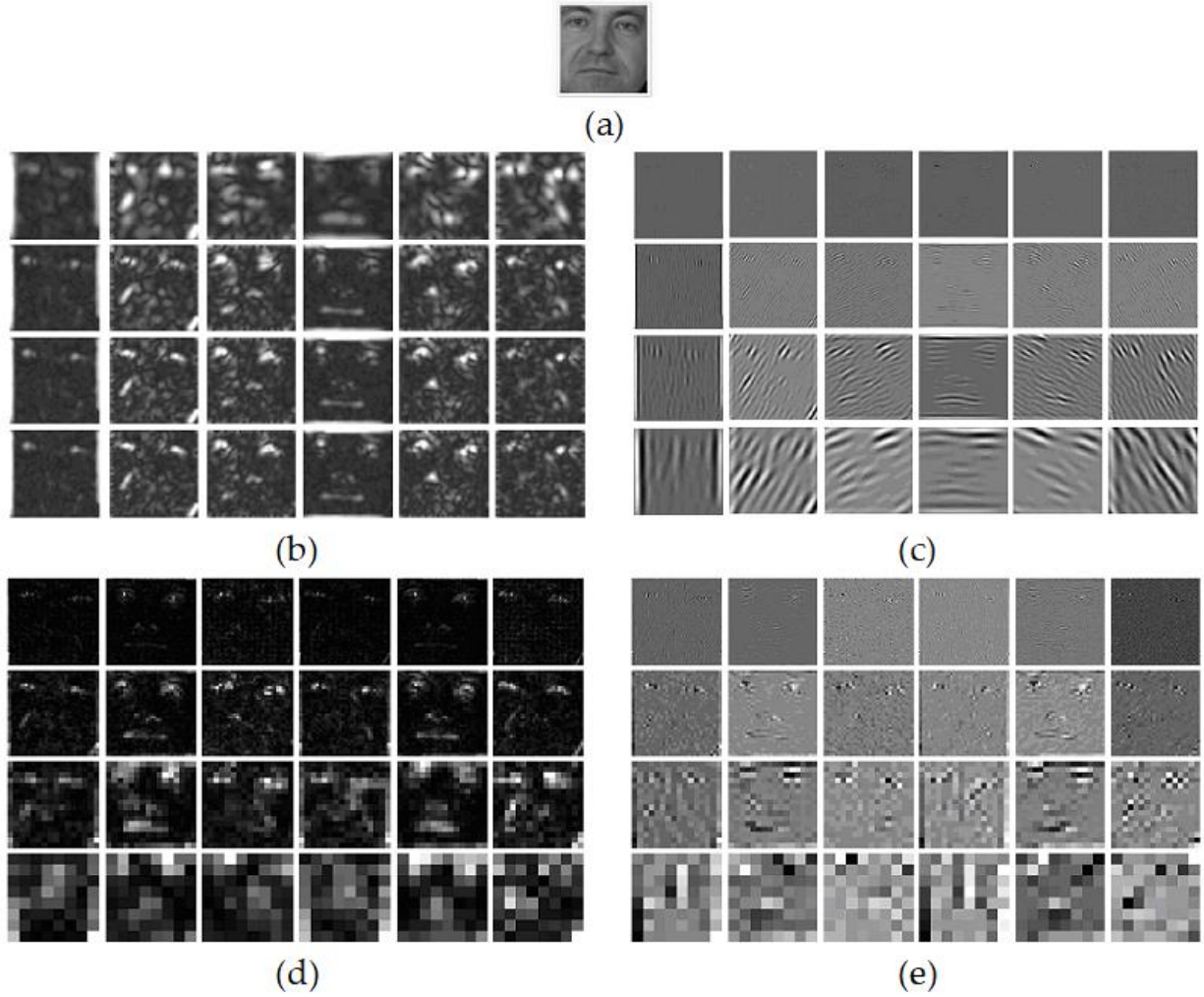


**Şekil 1.** 4 düzeyde ve 6 yöndeki Gabor (Solda) ve Çift Ağaç(Sağda) karmaşık dalgacıkların gerçel kısmı

*Figure 1. 4 scales and 6 directions of the real part of Gabor wavelets (left) and the dual-tree complex wavelets (right)*

Şekil 1'de Gabor dalgacıklarının 4 ölçek ve 6 yönde sırasıyla gerçel kısmı ve büyüklüğü görülmektedir. Gabor dalgacıklarının en uygun frekans-uzay yerleşimi özelliği sayesinde, lokal görüntü alanından maksimum miktarda bilginin ayrıştırılması sağlanır. Bu özellik, yüz algılama ve tanıma uygulamalarında Gabor dalgacıklarını yüz ifade değişikliklerine karşı gürbüz kılar. Buna ek olarak, Gabor dalgacıkları DC bileşenleri olmadığı için görüntünün aydınlanma değişikliklerine karşı değişmezdir. Bu avantajlara rağmen, hesap yükünün ve hafıza gereksiniminin fazla olması gibi önemli dezavantajlara sahiptir (Eleyan ve diğ., 2009.). Gabor dalgacık özneliklerini büyük ölçüde sergileyen ve hesaplama karmaşıklığı ve hafıza ihtiyacı daha az olan alternatif dönüşüm yöntemleri kullanılması tercih edilmektedir. Bu çerçevede karmaşık dalgacık dönüşümü (CWT) başarılı bir alternatif sunmaktadır.

Şekil 2.b ve 2.c'de Şekil 2.a'daki Gabor dalgacık dönüşümlü yüz görüntüsünün büyüklüğü ve gerçel kısmı görülmektedir.



**Şekil 2.** (a) Yüz görüntüsü (b) Gabor dalgacık dönüşümünün büyüklüğü (c) Gabor dalgacık dönüşümünün gerçel kısmı (d) Çift Ağaç dalgacık dönüşümünün büyüklüğü (e) Çift Ağaç dalgacık dönüşümünün gerçel kısmı.

*Figure 2. (a) Face image (b) The magnitude of Gabor wavelet transform (c) The real part of Gabor wavelet transform (d) The magnitude of dual-tree wavelet transform (e) The real part of Dual-tree wavelet transform*

### Çift Ağaç Karmaşık Dalgacık Dönüşümü (Dual-Tree Complex Wavelet Transform)

Karmaşık dalgacıkların kayma ve düzlemdeki dönmelere karşı değişmezlik özelliği sayesinde, görüntünün çoklu ölçekli tanımlanması mümkündür. Gabor dalgacıklar gibi karmaşık dalgacıklar da, aydınlanma ve yüz ifadesi değişikliklerine karşı hassas değillerdir. Bunun yanısıra karmaşık dalgacık dönüşümünün hesap yükü daha azdır. Gabor dalgacıklarının bir önceki bölümde sözedilen olumsuzluklarına karşı Çift ağaç karmaşık dalgacık dönüşümü (DT-CWT) daha iyi sonuçlar verebilen yöntemlerden biridir (Kingsbury 2003). İki dalgacık ağacı, gerçel süzgeçler ile dalgacık yapısındaki yaklaşık Hilbert çiftleri ile paralel olacak şekilde geliştirilmiştir. Hilbert dönüşüm çifti oluşturmanın yolu, yarı örnekleme gecikme şartının sağlanmasıdır. Elde edilen karmaşık dalgacık, (tek taraflı) frekans uzayında yaklaşık olarak analitiktir. Karmaşık dalgacık dönüşümü, artı ve eksi frekansları ayırabilmektedir ve farklı yönlerde olan ( $\pm 15$ ,  $\pm 45$  ve  $\pm 75$ ) altı adet altbant oluşturmaktadır. Fakat, her açının elde edilebileceği Gabor modelinden farklı olarak bu yönler sabittir.

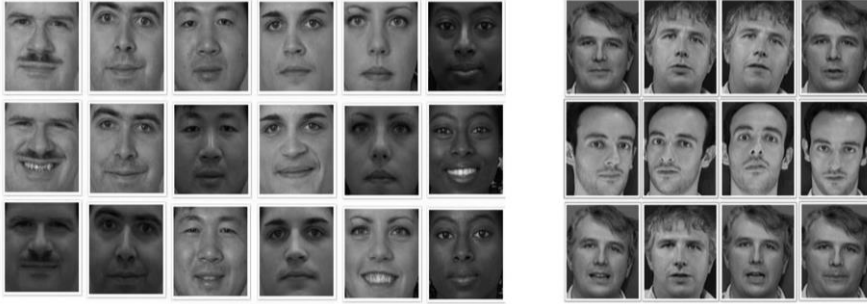


### Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Yapay sinir ağları (YSA)'nın işleyişindeki paralellik ve yüksek hesaplama hızı ile diğer geleneksel sınıflandırıcılara ve karar verme sistemlerine göre oldukça etkindir. Eğitilebilen YSA için pek çok uygulama örneği mevcuttur. Bunlardan bazıları: Sınır çıkarımı, görüntü işleme, görüntü süzgeçleme'den oluşan ön işleme, öznelik çıkarımı (Acciani ve diğ., 2003), yüz tanıma ve sınıflandırma (Eleyan ve Demirel 2007), koroner kalp hastalığı riski tahmin (Kim ve Kang 2017), proses kontrol sistemleri (Sharma ve diğ., 2016), yol durumu tahmini (Hongxia 2007) ve Turizm talebinin tahmini (Karahan 2015).

### Eğitim ve Test Veri Setlerinin Oluşturulması (Creation of Training and Test Data Sets)

Yapay sinir ağının eğitimi için  $20 \times 20$  ölçülerinde 1000 yüz görüntüsü ve 1000 yüz olmayan görüntü kullanılmıştır. FERET ve ORL veritabanlarından 1000 yüz görüntüsü alınmıştır. Her iki veritabanındaki tüm yüzler  $20 \times 20$  piksel'e yeniden boyutlandırılmıştır. FERET veritabanından 600 adet ön cephe görüntüsü seçilmiştir. Her birinde 3 görüntü olan 200 kişi için (ba, bj, bk) görüntü kodlarından oluşturulmuştur. Bu yüz görüntüleri seçilirken değişik aydınlanma koşulları (bk) ve farklı yüz ifadeleri (bj) içeren resimler tercih edilmiştir. Her yüz görüntüsü "0" ortalama değerine ve tek bir varyans değerine normalize edilir (Liu ve Wechsler 2003). ORL veritabanından gri ölçeklendirilmiş 400 görüntü ( $112 \times 92$  pixel) kullanılmıştır. Bu görüntüler, 40 kişinin iki yıl içinde çekilen farklı mimik ve farklı yüz detaylarından oluşan 10 farklı görüntüsüdür. Şekil 3'de veritabanlarından alınmış örnek görüntüler görülmektedir.



Şekil 3. Eğitim veritabanında kullanılan FERET(solda) ve ORL(sağda) veritabanlarından örnekler  
Figure 3. Examples from the FERET (left) and ORL (right) images used in the training database)

Eğitim setindeki her bir yüz görüntüsü için, farklı açılar (-20 derece ile + 20 derece arası) ile döndürülerek hazırlanmış 10 farklı versiyonu oluşturulmuştur. Eğitim setinde kullanılmış bir yüzün 10 farklı versiyonu Şekil 4'de görülmektedir.

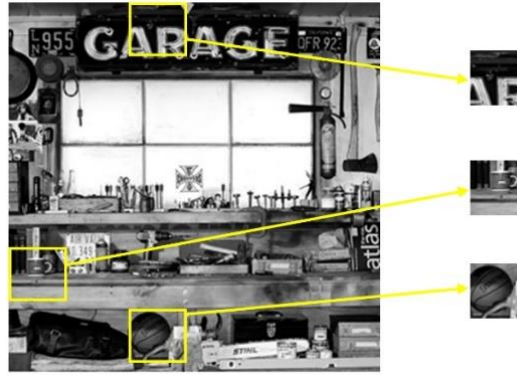


Şekil 4. Bir yüz görüntüsünün farklı dönme açıları kullanılarak hazırlanmış 10 farklı görüntüsü: (-20°, -15°, -10°, -5°, 0°, 5°, 10°, 15°, 20°) ve bir görüntünün yansımaları

Figure 4. 10 different generated images of a face image using different rotation angles: (-20°, -15°, -10°, -5°, 0°, 5°, 10°, 15°, 20°) and one image reflection

### Yüz olmayan görüntülerin eğitim veritabanı (Training database for non-face images)

Yüz olmayan görüntülerden oluşan veritabanı 1000 nesneyi içermektedir. Bu görüntüler, büyük resimlerden, rastgele küçük parçaların kesilmesiyle oluşturulmuştur. Orijinal görüntülerin rastgele kısımlarından kesilmiş alt görüntüler Şekil 5'te görülmektedir.



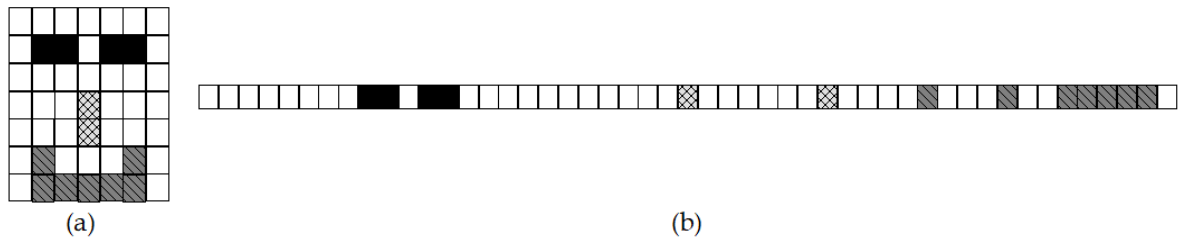
Şekil 5. Orijinal görüntülerden kırılmış yüz olmayan görüntüler  
Figure 5. Cropped non-face images from original images

### Öznitelik Çıkarım Basamağı (Feature Extraction Step)

Öznitelik çıkarımı için kullanılan yöntemler, Gabor dalgacıklar ve Çift Ağaçkarmaşık dalgacıklarıdır. Burada, görüntüye ait tüm verinin kullanılması yerine, belli başlı öznitelikleri kullanılmaktadır. Her iki yaklaşım için, yüz görüntülerinin çoklu ölçekli parçalanmaları 4 ölçek ve 6 yönde gerçekleştirilmiştir. Gabor dalgacık dönüşümünün ve Çift ağaç karmaşık dalgacık dönüşümünün  $X$  öznitelik vektörleri, çoklu ölçekli gösterim sonuçlarının ardarda eklenmesiyle (concatination) oluşmuştur. Verilen bir görüntü  $\Gamma(x, y)$  ve  $\psi_{s,d}(x, y)$  dalgacığı, " $s$ " ölçek ve " $d$ " yön'ü göstermek üzere  $X$  vektörü eşitlik 1'deki gibi ifade edilebilir.

$$X = (O_{0,0} \ O_{0,1} \ L \ O_{3,5})^T, \quad (1)$$

$O_{s,d}(x, y) = \Gamma(x, y) * \psi_{s,d}(x, y)$  ve  $O_{s,d}$  ( $s = 0, \dots, 3, d = 0, 1, \dots, 5$ ) olmak üzere,  $X$   $O_{s,d}(x, y)$ 'nin satırlarının veya sütunlarının arka arkaya eklenmesiyle oluşturulmuştur. Burada  $*$  ve  $T$  sırasıyla katlama ve transpozunu ifade etmektedir. Şekil 6'da bir vektörü oluşturan yüz görüntüsü örneği görülmektedir.



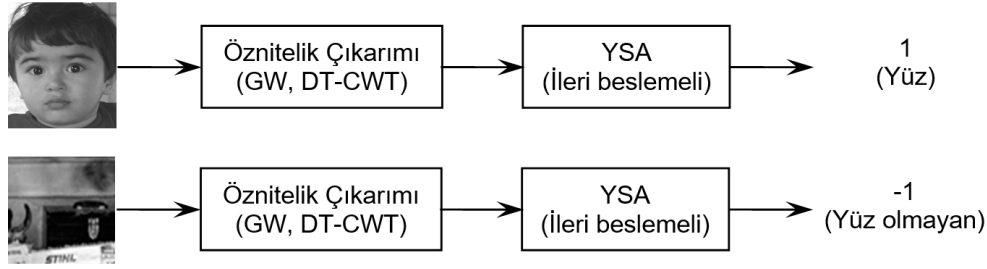
Şekil 6. Yüz görüntüsünün çoklu ölçekli gösterim sonuçlarının ardarda eklenmesi, (a) yüz görüntüsü  
(b) yüz öznitelik vektörü

Figure 6. Concatenation of multi-scale display results of face image, (a) face image (b) face feature vector

Her iki yöntemin öznitelik vektörlerinin uzunluğu farklılık göstermektedir. Gabor dalgacıklı çıkış görüntüsü, 4 ölçeğin herbirinde aynı boyutta olurken, Çift ağaç dalgacıklı çıkış görüntüleri, bir üst ölçekteki çıkış görüntüsünün boyutunun yarısına sahiptir.

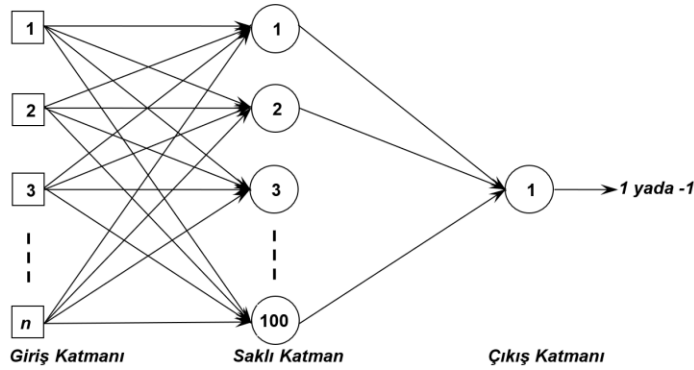
### Yapay Sinir Ağlarının Eğitimi (Training of the artificial neural network)

Giriş bölümünde kısaca değinildiği üzere, yüz algılama işleminin en önemli basamaklarından biri Sınıflandırma'dır. Bu çalışmada, sınıflandırma için Geriye Yayılım (back propagation) öğrenme algoritmasıyla birlikte İleri Beslemeli (feed forward) Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır. Şekil 7'de YSA'nın eğitim safhası görülmektedir.



Şekil 7. Sinir ağının eğitimi  
Figure 7. Training of the neural network

YSA'nın girişine 1000 pozitif örnek (yüz görüntüsü) ve 1000 negatif örnek (yüz olmayan) beslenmiştir. Yüz görüntülerinin hedef çıkış değeri "1", yüz olmayan görüntülerin hedef çıkış değeri "-1" olarak belirlenmiştir. YSA, iterasyon sayısı 1000, ortalama kare hatası (MSE)  $10^{-4}$  ve aktivasyon fonksiyonu olarak Sigmoid  $F(net) = \frac{1}{1+\exp(-net)}$  fonksiyonu kullanılmıştır. Giriş nöronlarının sayısı, kullanılan öznitelik çıkarım yöntemine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Gabor Dalgacıklar için vektör uzunluğu 1860 iken, Çift Ağaç Dalgacıklar için 996'dır. Her iki yöntemde de saklı katmandaki nöronların sayısı 100'dür. Öğrenme oranının değeri 0.1'dir. Momentum sabiti 0.95 olarak kullanılmıştır. Birçok denemeden sonra seçilen bu parametre değerleri ile yüz algılama başarısı en yüksek orana ulaşmıştır. Şekil 8'de, kullanılan Yapay Sinir Ağı'nın yapısı görülmektedir. Buradaki n değeri, kullanılan öznitelik çıkarım yöntemine göre değişmektedir.



Şekil 8. Yüz algılama sistemi için YSA yapısı  
Figure 8. ANN architecture of face detection system

İterasyon sayısı en yüksek değere ulaştığında (1000) veya hedeflenen hata değerine ulaşıldığında ( $10^{-4}$ ), YSA eğitiminin bittiği kabul edilmektedir. Bundan sonra, katmanlar arasındaki ağırlıklar kaydedilmektedir. Bu aşamadan sonra sistem, test edilecek görüntü için hazırdır.

### Önişleme Basamağı (Preprocessing Step)

Bu çalışmadaki öntarama işlemi (Telatar ve diğ., 2007)'in çalışması örnek alınarak yapılmıştır. Yüz algılama sisteminin işlem yükünün ve buna bağlı olarak zamanının azaltılmasını hedefleyen bu yöntem, yüz olma olasılığının düşük olduğu alanların elenmesi esasına dayanmaktadır.

Genellikle yüz algılama algoritmalarında yüzün algılanması işlemi, test edilecek görüntünün alt bloklarının bir pencere kullanılarak taranması ile yapılmaktadır. Tarama işleminin süresi, tarama penceresinin boyutu ve görüntü boyutu ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Görüntü taranırken, yüz olmayan bölgeler üzerinde harcanan zaman çok fazla olmaktadır. Ağaç, duvar, gökyüzü gibi arkaplan bölgelerinin, her blok içindeki piksel değerlerinin varyansı, daha küçük bir değere sahipken yüz olan bölgelerin varyans değeri daha büyüktür. Ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak,

test görüntüsü, ya yüz- yüze benzeyen bölge ya da yüz olmayan bölge olarak sınıflandırılır. Bunun için, ortalama ve standart sapma değerleri her iki bölge için hesaplanmış ve bu değerlerin en küçük ve en büyük olanları eşik değer olarak kullanılmıştır.

Görüntüye öntarama yapmak için, öncelikle tarama penceresinin büyüklüğüne karar verilmiştir. Yatay ve dikey yönlerin her ikisi için de en büyük pencere boyutu 20 pikseldir. Telatar ve diğ. (2007) çalışmalarında pencere boyutunun azaltılmasına devam edilmesinin daha iyi bir sonuç vermediği ve bununla beraber işlem zamanında da artış olduğunu göstermektedir. Tarama penceresi, görüntünün bütün pikselleri üzerinden tek tek geçmektedir. Standart sapma ve varyans, pencerenin altındaki alan için hesaplanmaktadır. Eğer bu değerler eşitlik 2'de tanımlanmış eşik değerlerini geçerse, pencere alanının tam ortasındaki piksel değeri kalır. Aksi takdirde, yüz algılama işleminde o piksel yok sayılmaktadır.

$$(\mu \geq UTh_{\mu}) \& (\mu \leq LTh_{\mu}) \& (\delta \leq UTh_{\delta}) \& (\delta \geq LTh_{\delta}) \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitlikte,  $UTh_{\mu}$  ve  $LTh_{\mu}$  iki boyutlu ortalama değerlerin sırasıyla üst ve alt eşik değerleridir.  $UTh_{\delta}$  ve  $LTh_{\delta}$  ise sapma değerlerinin sırasıyla üst ve alt eşik değerleridir.  $\mu$  ve  $\delta$  değerleri pencerenin altındaki alanın ortalama ve standart sapma değerleridir.

Uygulama zamanının biraz daha azaltılması amacıyla görüntünün kenarlarına yakın, boyutları (10×10)'luk bir bölge yok sayılmıştır. Çünkü burada yüz bulunma olasılığı düşüktür. Şekil 9'da öntarama ve kenar çıkarma işlemlerinin birçok yüz içeren bir görüntü üzerindeki uygulaması görülmektedir.



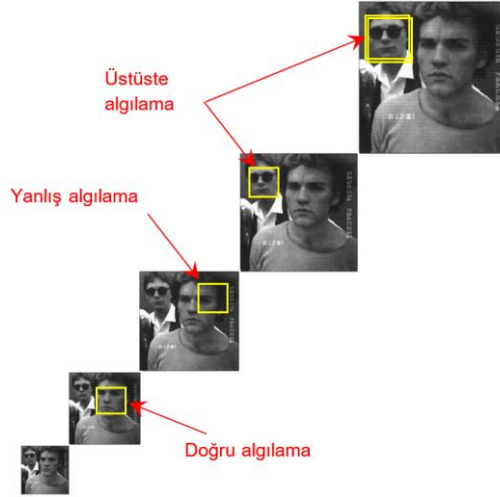
Şekil 9. Öntarama İşlemi (a) Yüz görüntüsü (b) Yüz olabilecek bölge  
Figure 9. Preprocessing (a) Face image (b) Probable face region

### Histogram eşitleme (Histogram Equalization)

Histogram eşitleme, görüntülerin kontrastını arttırmak amacıyla yapılan bir işlemdir. Genellikle kullanılan gri seviyeleri ifade eden sivri (peak) değerler, görüntünün histogramında eksen boyunca yayılmaktadır. Histogram eşitleme, yüz veritabanına ve yüz olmayan görüntülerin veritabanına uygulanmıştır. Bunun yanısıra, algılama işlemi boyunca her test görüntüsüne de histogram eşitleme uygulanmıştır.

### Yüz Algılama Algoritması (Face Detection Algorithm)

Görüntülerde farklı boyutlarda birçok yüz olabilir. Kameraya olan uzaklıkları değişiklik gösterebilir. Tüm bu yüzlerin bütün ölçeklerde algılanabilmesi için, test görüntüsünün alt örnekleme yapılmış versiyonları oluşturulmaktadır. Bu görüntü versiyonları "görüntü piramidi" olarak adlandırılır. Yüz algılama algoritması, piramitteki her bir görüntüye uygulanmaktadır. Görüntünün bütün versiyonlarından gelen her bir sonuç, birbiriyle karşılaştırılarak hepsi tek bir sonuçta birleştirilmiştir. Bu işlem Ölçeklerarası Çözümleme olarak adlandırılır. Şekil 10'da farklı ölçeklerde algılanmış yüzler içeren bir görüntü piramidi örneği görülmektedir. Arkadaki yüz, ilk ölçekte iki kez, ikinci ölçekte bir kez olmak üzere üç kez algılanmıştır. Bu duruma üstüste algılama denir. 4. ölçekte öndeki yüz doğru algılanırken 3. ölçekte yanlış algılanmıştır.



**Şekil 10.** Farklı ölçeklerde algılanmış yüzler içeren görüntü piramidi

*Figure 10. Image pyramid with detected faces at different scales*

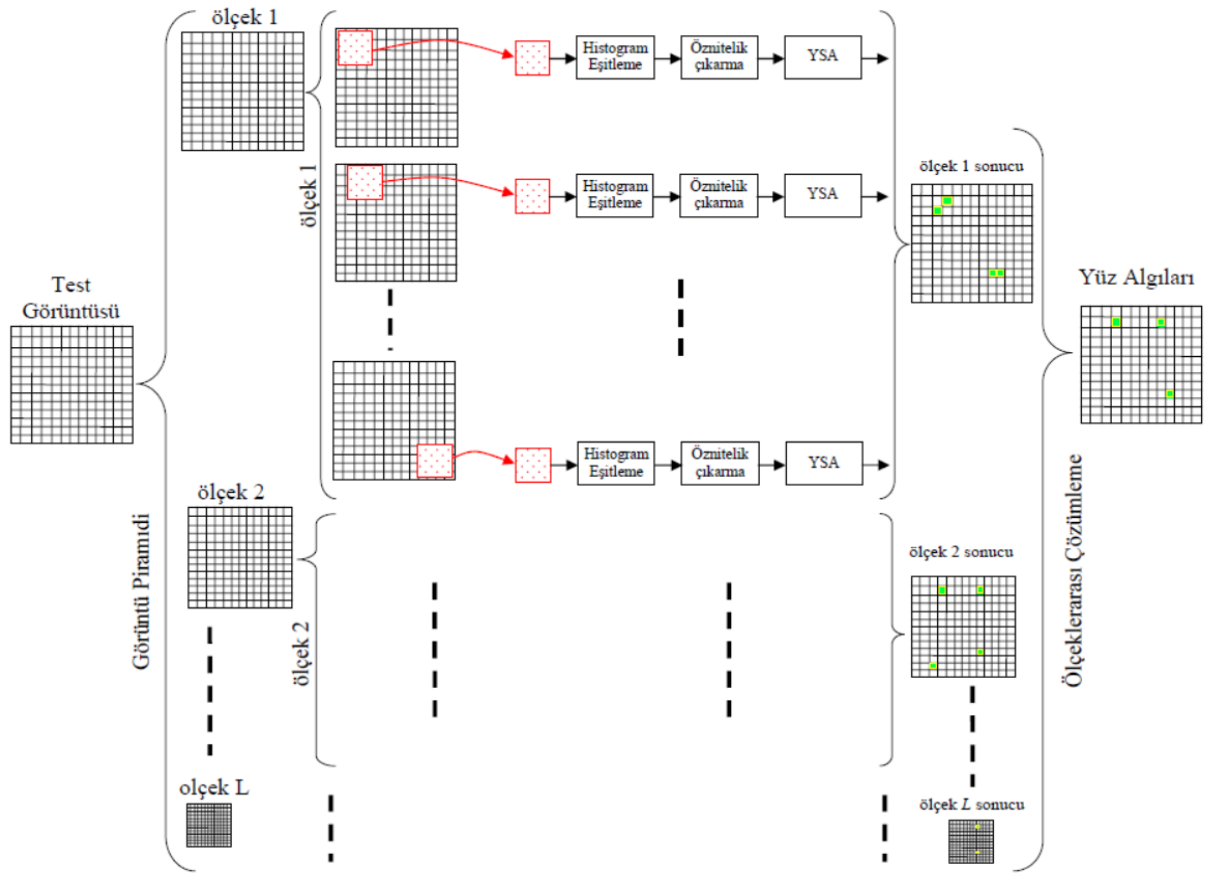
Görüntü piramidi oluşturulduktan sonra, her ölçekteki görüntüye önışleme ve algılama işlemleri ayrı ayrı uygulanmaktadır. Öntarama işleminden sonra geriye kalan bölgeler, boyutu 20×20 olarak ayarlanmış alt pencere ile bir piksel aralıklarla taranmaktadır. Her alt pencereye histogram eşitleme yapılarak öznitelik çıkarımı için Gabor ve Çift Ağaç dalgacıkları uygulanmaktadır. Elde edilen görüntüler, bir vektör oluşturacak şekilde ardarda eklenerek YSA'nın girişine beslenmektedir. YSA, alt pencereyi, eğer yüz ise çıkış değeri "1", yüz değilse çıkış değeri "-1" olarak sınıflandırmaktadır. Alt pencerelerin ve görüntü piramidindeki tüm görüntülerin bu şekilde işlenmesinden sonra, ilgili ölçekteki yada ölçekler arasındaki üstüste gelmiş sonuçların ortadan kaldırılması için tüm bu sonuçlar karşılaştırılmış ve çözümleme (arbitration) yapılmıştır. Yukarıda detayları anlatılan yüz algılama sisteminin yapısı Şekil 11'de görülmektedir.

Yüz algılama sisteminin hata oranı, test veritabanındaki bütün görüntüler için hesaplanmıştır. Eşitlik 3'te görüldüğü gibi başarı oranı; doğru algılanan yüz sayısının görüntüdeki toplam yüz sayısına oranına eşittir.

$$\text{başarı oranı} = \frac{\text{doğru algılanmış yüz sayısı}}{\text{toplam yüz sayısı}} \quad (3)$$

Eşitlik 4'te görülen hata oranı, yanlış algılanmış yüz sayısının görüntüdeki toplam yüz sayısına oranı olarak hesaplanmıştır.

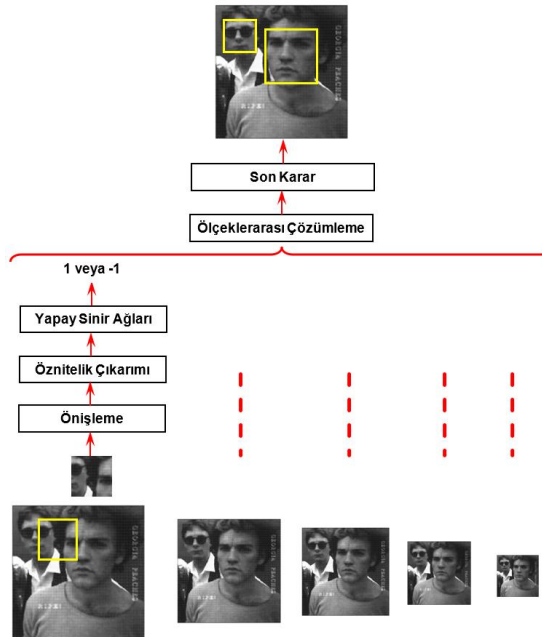
$$\text{hata oranı} = \frac{\text{yanlış algılanmış yüz sayısı}}{\text{toplam yüz sayısı}} \quad (4)$$



Şekil 11. Yüz algılama sisteminin yapısı

Figure 11. The structure of face detection system

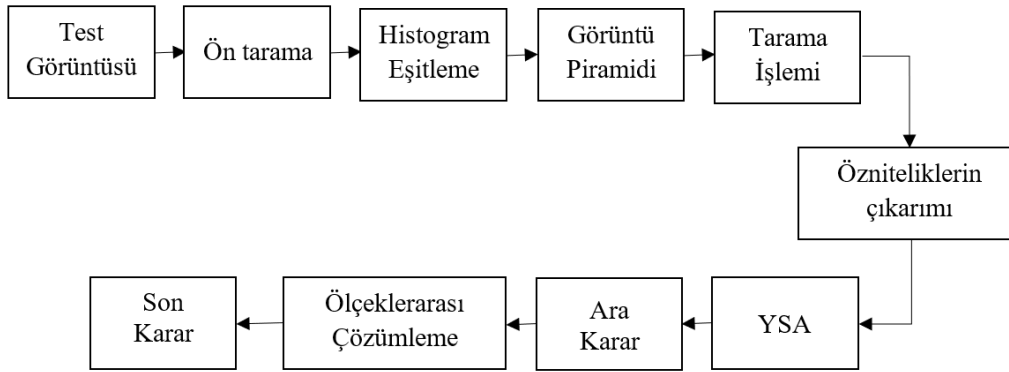
Şekil 12'de ise örnek bir görüntü üzerinde sistemin çalışma şekli gösterilmektedir.



Şekil 12. Örnek görüntü için yüz algılama sisteminin çalışma mantığı

Figure 12. Example on an image for the working mechanism of face detection system

### Önerilen Sistemin Akış Diyagramı (Flow Diagram of the Proposed System)



**Şekil 13.** Yüz algılama sisteminin akış diyagramı

*Figure 13. The flowchart of the face detection system*

Şekil 13'te yüz algılama sisteminin akış diyagramı görülmektedir. Test görüntüsü üzerinde yüz olma olasılığının düşük olduğu alanların elenmesi amacıyla Öntarama işlemi yapılır. Daha sonra görüntü kontrastını arttırmak amacıyla Histogram Eşitleme işlemi yapılır. Görüntüde bulunan farklı boyutlardaki tüm yüzlerin doğru olarak algılanabilmesi için orijinal görüntü %10 oranında azaltılarak Görüntü Piramidi oluşturulur ve bütün versiyonlar üzerinde 20×20 piksel büyüklüğündeki bir pencere ile Tarama işlemi gerçekleştirilir. Her tarama penceresine ayrı ayrı Gabor ve Çift-ağaç dalgacık dönüşümü uygulanarak Öznitelik Çıkarımı yapılır ve öznitelik vektörleri YSA girişine beslenir. YSA çıkışındaki değer eşik değerinin üstündeyse 'yüz', altındaysa 'yüz değil' olarak karar verilir. Bütün ölçeklerden gelen YSA çıkışları değerlendirilerek Son Karar belirlenir.

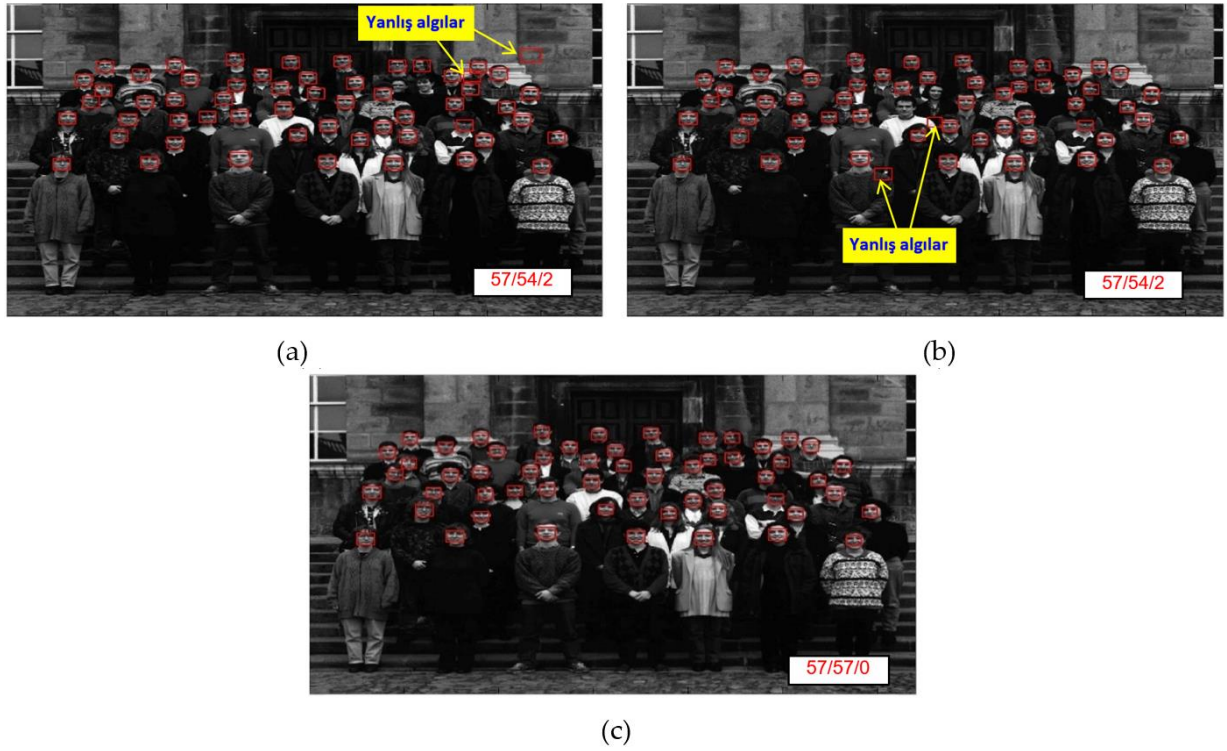
## SONUÇLARIN İRDELENMESİ (DISCUSSIONS)

### Simülasyon Sonuçları (The Results of The Simulations)

Bu bölümde, önerilen yüz algılama sisteminin performansını değerlendiren simülasyon sonuçlarından örnekler gösterilecektir. Genellikle yüz algılama amaçlı kullanılan MIT+CMU (Rowley et al. 1998, Sung and Poggio 1998) veritabanı ile kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları bir tablo içinde gösterilmiştir. Ayrıca, MIT+CMU veritabanındaki görüntüler farklı açılarla (-10°, -5°, 5°, ve 10°) döndürülmüş ve sistem test edilmiştir. Daha sonra, yüz algılama sistemi FRAV2D (Serano et al.), BioID (Jesorsky et al. 2000) ve BANCA (Baillié et al.) veritabanları kullanılarak da test edilmiştir.

Örnek sonuçlar Şekil 14'de görülmektedir. İlk olarak, Çift Ağaç Karmaşık Dalgacık Dönüşümü ve YSA kullanılarak sistem test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Şekil 14(a)'da görülmektedir. Görüntüdeki 57 yüz içinden 54 yüz başarılı olarak algılanırken iki yanlış algı görülmektedir. Aynı görüntü için Gabor dalgacıklar ve YSA kullanılarak test yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 14(b)'de görülmektedir. Aynı şekilde 57 yüzden 54 yüz başarılı olarak algılanırken iki yanlış algı görülmektedir. Aşağıdaki sonuçlarda yanlış algılanan 2 görüntü ve 2 algılanamamış görüntünün Gabor dalgacıklar ve Çift Ağaç Karmaşık Dalgacık Dönüşümü kullanılarak yapılan testlerde aynı olmadığı görülmektedir. İki yaklaşımın sonuçlarının birleştirilmesiyle ortaya çıkan aynı pozisyon üzerindeki çoklu algılamanın ortadan kaldırılması, en büyük YSA çıkış değerine sahip pozisyonun seçilerek, diğerlerinin elenmesiyle gerçekleştirilir.

Şekil 14(c)'de iki yaklaşımın birleştirilmesi sonucunda elde edilen nihai sonuçlar görülmektedir. Resimlerin sağ alt köşesinde yer alan gösterim; toplam yüz/doğru algı/yanlış algı olarak değerlendirilmelidir.



Şekil 14. Yüz algılama için örnek sonuçlar: (a) Çift ağaç+YSA, (b) Gabor+YSA ve (c) Gabor\_Çift ağaç+YSA (toplam yüz/doğru algı/yanlış algı)

Figure 14. Example results for face detection: (a) Dual tree+ANN, (b) Gabor+ANN and (c) Gabor\_Dual tree+ANN (total faces / correct detections / false detections)

Şekil 14(c)'de doğru algılanan yüz sayısı artarken yanlış algıda azalma olmuştur. Bu sebeple yüz algılama sisteminin performans değerlendirmesine ait sonuçların gösterimine Gabor\_Çift ağaç+YSA kullanılarak devam edilecektir. Şekil 15'de MIT+CMU veritabanından örnekler görülmektedir. Kırmızı kareler ile işaretlenmiş kısımlar doğru algılanan yüz bölgelerini ifade etmektedir.



Şekil 15. MIT+CMU veritabanı kullanılarak yapılmış testler (toplam yüz/doğru algı/yanlış algı)

Figure 15. Tests using MIT + CMU database (total faces / correct detections / false detections)



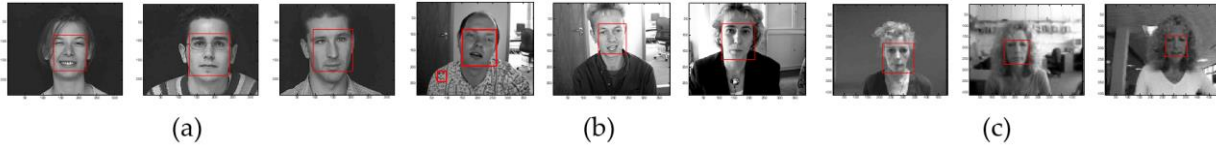
Çizelge 1’de MIT+CMU veritabanı kullanılarak Gabor Dalgacık Dönüşümü ve YSA, Çift Ağaç Dalgacık Dönüşümü ve YSA, ve her iki algoritmanın algı sonuçlarının birleştirilmesiyle oluşan Gabor\_Çift Ağaç+YSA yaklaşımları ile tüm görüntüler üzerinde doğru ve yanlış algılar hesaplanmış, başarı yüzdeleri ile birlikte aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Gabor\_Çift Ağaç+YSA algoritmasının doğru algılama performansı %94.08 ile en fazladır.

**Çizelge 1.** MIT+CMU veritabanı kullanılarak üç yaklaşım için yapılan performans testi

*Table 1. Performance test for three approaches using MIT + CMU database*

Algoritma	Performans	AlgılananYüzler	Yanlış Algılar
Çift-ağaç+YSA	%90.34	458/507	21
Gabor+YSA	%87.38	443/507	28
Gabor_Çift-ağaç+YSA	%94.08	477/507	16

Bundan sonraki deneyler BANCA, FRAV2D ve BioID veritabanları üzerinde yapılmıştır. Şekil 16’da üç veritabanından elde edilen algılama sonuçları görülmektedir.



**Şekil 16.** (a)FRAV2D, (b) BioID ve (c)BANCA veritabanlarından algılama örnekleri

*Figure 16. Detection examples from (a) FRAV2D, (b) BioID and (c) BANCA databases*

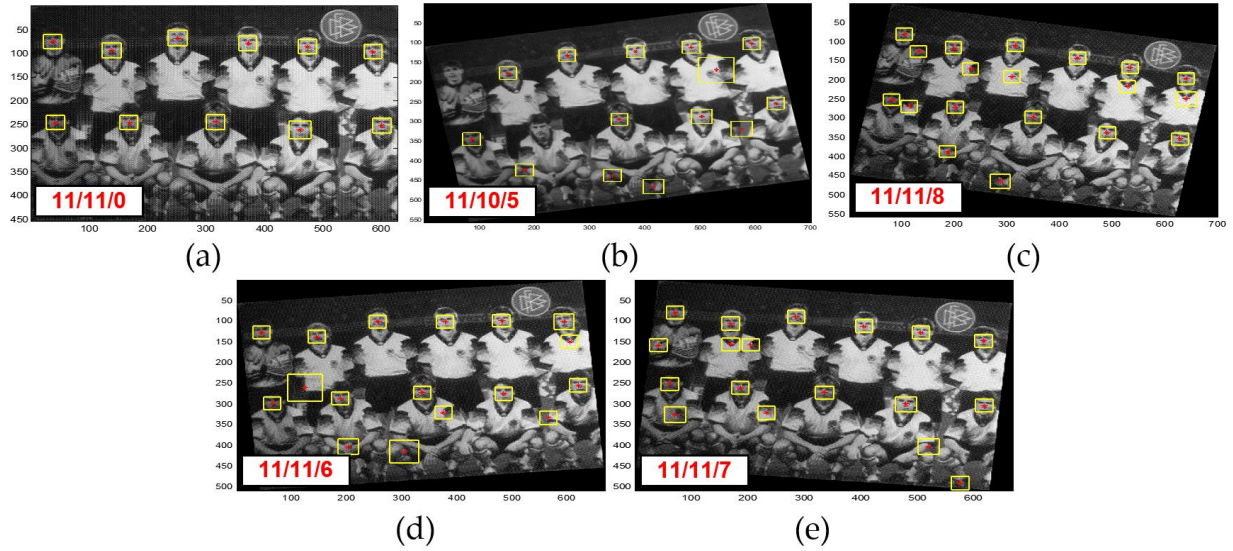
Çizelge 2’de üç farklı veritabanı kullanarak “birleşme” yaklaşımının performans ölçümüne ait örnekler görülmektedir. Toplam 11249 yüz içeren 11248 görüntü ile önerilen yaklaşım test edilmiştir. Bu yüzler içinden 11075 yüz, sadece 294 yanlış ile, algılanmıştır. Bu sonuçlara göre, önerilen yaklaşımın yüz algılama probleminin çözümünde etkili bir yöntem olduğu görülmektedir. FRAV2D veritabanında bulunan görüntülerdeki çoğu yüzün bazı kısımlarının kapanmış olmasından dolayı başarı yüzdesi diğerlerine göre düşük kalmıştır.

**Çizelge 2.** 3 farklı veritabanı kullanarak “birleşme” yaklaşımının performansı

*Table 2. Performance of the “combination” approach using 3 different databases*

Veritabanı	Toplam yüz sayısı	Performans	Algılanan yüzler	Yanlış algılar
BioID	1521	%99.41	1512/1521	49
FRAV2D	3488	%97.33	3395/3488	87
BANCA	6240	%98.85	6168/6240	158

Diğer bir deneme ise, MIT+CMU veritabanındaki görüntülerin  $-10^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $5^\circ$  ve  $10^\circ$  lik açılar ile döndürülerek, önerilen yüz algılama sisteminin performansının test edilmesiyle yapılmıştır. Şekil 17’de MIT+CMU veritabanındaki görüntülerin farklı açılar ile döndürüldükten sonraki algılama sonuçları görülmektedir.



Şekil 17. Gabor-Çift ağaç+YSA ile farklı açılar: (a)orijinal, (b)  $10^\circ$ , (c)  $-10^\circ$ , (d) $5^\circ$ , (e) $-5^\circ$   
 Figure 17. Gabor-Dual tree + YSA with different angles: (a) original, (b)  $10^\circ$ , (c)  $-10^\circ$ , (d) $5^\circ$ , (e) $-5^\circ$

Çizelge 3. MIT+CMU veritabanından farklı açılarla döndürülmüş görüntülerin yüz algılama performansları

Table 3. Face detection performance of images rotated in different angels from the MIT + CMU database

Dönme Açısı	Performans	Algılanan Yüzler	Yanlış Algılar
-10	92.70	470/507	119
-5	93.69	475/507	87
0	94.08	477/507	16
5	93.29	473/507	49
10	92.31	468/507	55

Sistemin eğitim basamağında kameraya doğru yan dönmüş yüzler bulunmamasına rağmen, sistemin performansı bu yüzler ile test edilmiştir. Çizelge 3'te farklı açılarla döndürülmüş görüntülerin yüz algılama performanslarının yüksek olduğu görülmektedir.

Rowley (1998), çalışmasında MIT+CMU veritabanında bulunan 23 görüntü ile sistemi test etmektedir. Çizelge 4'de önerilen Gabor-Çift ağaç+YSA yaklaşımı ve diğer bazı algoritmaların sonuçları ile yapılan karşılaştırma görülmektedir. Buna göre, önerilen algoritma % 91.61 ile en başarılı yüz algılama oranını elde etmiştir.

Çizelge 4. MIT+CMU'dan 155 yüz içeren 23 görüntü ile önerilen sistemin diğer sistemler ile karşılaştırılması

Table 4. Comparison of the proposed system against other systems with 23 images containing 155 faces from MIT + CMU database

Algoritma	Performans	Algılanan Yüzler	Yanlış Algılar
Neural Networks [sistem 12] (Rowley vd., 1998)	%90.3	140/155	42
Perceptron (Sung, 1996)	%76.8	119/155	5
MLP (Sung, 1996)	%81.9	127/155	13
SVM (Osuna vd., 1997)	%74.2	116/155	20
Gabor-Çift ağaç+YSA	%91.61	142/155	9

## SONUÇ (CONCLUSIONS)

Görüntüler içinde yüzün algılanması problemi, "Yüz Tanıma" algoritmaları için önışleme aşamasında önemlidir. Bu çalışmada, yüz algılama için Gabor Dalgacık Dönüşümü ve Çift Ağaç Dalgacık Dönüşümünün kullanılması önerilmiştir.

Sistemin sınıflandırma basamağında ileri beslemeli sinir ağları kullanılmıştır. Sinir ağları geriye yayılım algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Gabor öznitelik vektörlerinin uzunluğu 1864 olurken, Çift Ağaç öznitelik vektörlerinin uzunluğu 996'dır.

Yüz olma ihtimalinin yüksek olduğu bölgelerin çıkartılması ile gerçekleştirilen öntarama işlemi her test görüntüsüne uygulanmıştır. İşlem yapılacak alana karar verildikten sonra test görüntüsü 20×20 boyutundaki bir pencere ile taranarak öznitelik çıkarım birimine beslenmiştir. Öznitelik vektörleri sinir ağlarına uygulanır. Sinir ağının çıkış değeri, yüz'ün olması durumunda "1" olurken, yüz'ün olmaması durumunda "-1" olmaktadır. Test görüntüsüne birkaç kez altörnekleme işlemi yapılmış ve ölçeklendirilmiş her görüntüye aynı işlemler uygulanmıştır. Sonunda, tüm ölçeklerden gelen algı sonuçları birleştirilerek çoklu algılar ve yanlış algılar yok edilmiştir. Bu aşamada ya Gabor dalgacıklar yada Çift Ağaç dalgacıklar kullanılarak çıkarım yapılmıştır. Çıkarımdan sonra, test görüntüsü her iki sinir ağına ayrı olarak uygulanmıştır ve her iki ağ sonuçları birleştirilmiştir. Her iki ağdan elde edilen algılama sonuçlarının birleştirilmesiyle önerilen Gabor-Çift ağaç+YSA sisteminin doğru algılama performansının arttığı ve aynı zamanda yanlış algı sayısında azalma olduğu görülmektedir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Acciani, G., Chiarantoni, E., Fornarelli, G. and Vergura, S. 2003. "A feature extraction unsupervised neural network for an environmental data set", *Neural Networks*, Cilt 16, no 3-4, ss. 427-436.
- Eleyan, A., Ozkaramanli, H. and Demirel, H. 2009, "Dual-tree and single-tree complex wavelet transform based face recognition", *SIU 2009*, Side, Turkey, ss. 536-539.
- Eleyan, A., Ozkaramanli, H. and Demirel, H. 2009, "Complex Wavelet Transform-Based Face Recognition", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Article ID 2008: 185281.
- Eleyan, A., Demirel, H. 2007. "PCA & LDA based Neural Networks for Human Face Recognition, in "Face Recognition", edited by K. Delac and M. Grgic, Intech, ss.93-106.
- Froba, B., Ernest, B. 2004. "Face detection with the modified census transform", *Proc. IEEE International Conference on Automatic Face and gesture Recognition*, ss. 91-96.
- Hongxia, J. 2007. "The application of neuro-FDT in urban short-term traffic flow prediction", *3rd International Conference on Natural Computation*, China, ss. 499-503.
- Huang, L.L, Shimizu, A., Kobatake, H., 2005, "Robust face detection using Gabor filter features", *Pattern Recognition Letters*, Cilt 26, Sayı 11, ss. 1641-1649.
- Karahan M., 2015, "Turizm talebinin yapay sinir ağalari yöntemiyle tahmin edilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* Y.2015, Cilt 20, Sayı 2, ss.195-209.
- Kim, J.K., Kang, S., 2017, "Neural network-based coronary heart disease risk prediction using feature correlation analysis. *Journal of Healthcare Engineering*. vol. 2017, Article ID 2780501.
- Kingsbury, N. G., 2003, "Design of Q-Shift Complex Wavelet for Image Processing Using Frequency Domain Energy Minimization", *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP '03)*, Cilt 1, ss. 1013-1016.
- Lin, W.H., Wang, P., Tsai, C.F. 2016, "Face recognition using support vector model classifier for user authentication", *Electronic Commerce Research and Applications* Cilt18, ss. 71-82.
- Liu, C. 2003, "A bayesian discriminating features method for face detection", *IEEE IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Cilt 25, Sayı 6. ss. 725-740.
- Liu, C. and Wechsler, H. 2003, "Independent component analysis of gabor features for face recognition", *IEEE Transaction on Neural Networks*, Cilt 14, Sayı 4, ss. 919-928.
- Nanni, L. and Lumini, A. 2007, "Multi-expert approach for wavelet-based face detection", *Pattern Recognition Letters*, Cilt 28, Sayı 12, ss. 1541-1547.

- Oh, B.S., Oh, K., Teoh, A.B.J., Lin, Z., Toh, K.A., 2017, "A Gabor-based network for heterogeneous face recognition", *Neurocomputing*, Cilt 261, ss. 253-265.
- Ratsch, M., Romdhani, S. and Vetter, T. 2004, "Efficient face detection by a cascaded support vector machine using haar-like features. *Proc. 26th Pattern Recognition Symposium*, Tübingen, ss. 62-70.
- Rowley, H., Baluja, S. and Kanade, T. 1998, "Neural network-based face detection", *IEEE Pattern Analysis Machine Intelligent Transaction*, Cilt 20, ss. 22-38.
- Schneiderman, H. and Kanade, T. 2000, "A statistical method for 3D object detection applied to faces and cars", *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, Cilt 1, ss. 746-751.
- Shah, P. M. 2012, "Face detection from images using support vector machine", Yüksek lisans tezi. 321. San José State University.
- Sharma, M., Verma, P., Mathew, L., 2016, "Design an intelligent controller for a process control system", *International Conference on Innovation and Challenges in Cyber Security (ICICCS-INBUSH)*, Noida, ss. 217-223.
- Sung, K. K., Poggio, T. 1998, "Example-based learning for view-based human face detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Cilt 20, Sayı 1, ss. 39-51.
- Telatar, Z., Sazlı, M.H., Muhammad I., 2007, "Neural network based face detection from pre-scanned and row-column decomposed average face image", *ACIVS 2007*, LNCS 4678, ss. 297-309.
- Türkeç, M.B. 2007, Bayes sınıflandırıcı kullanarak yüz sezimi. *Yüksek lisans tezi*, Hacettepe üniversitesi, 91 s., Ankara.
- Tsai, C.C., Cheng, W.C., Taur, J.S., Tao, C.W. 2006, "Face detection using eigenfaces ad neural network", *Proc. IEEE Int'l Conf. on Systems, Man, Cybernetics*, ss. 4343-4347.
- Turk, M., Pentland, A. 1991. Eigenfaces for Recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, Cilt 3, Sayı 1, ss. 71-86.
- Yang, G., Huang, T. S. 1994, "Human face detection in complex background", *Pattern Recognition*, Cilt 27, Sayı 1, ss. 53-63.



## DEVELOPMENT OF A WIRELESS PRESSURE SENSOR MODULE TO CONVERT THE MOBILE PHONES INTO DIVE COMPUTERS

<sup>1</sup>Miraç MEMİŞOĞLU, <sup>2</sup>Tamer ÖZYİĞİT, <sup>3</sup>Seçil ŞATIR, <sup>4</sup>Salih Murat EĞİ

<sup>1</sup>Bogazici Uluslararası Eğitim Danışmanlık Merkezi ve Tic Ltd, Kadıköy, İstanbul, TURKEY

<sup>2,4</sup>Galatasaray University, Computer Engineering Department, Ortakoy, İstanbul, TURKEY

<sup>3</sup>FSMVU Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Fatih, İstanbul, TURKEY

<sup>1</sup>[mirac@memisoglu.com](mailto:mirac@memisoglu.com), <sup>2</sup>[tozyigit@gsu.edu.tr](mailto:tozyigit@gsu.edu.tr), <sup>3</sup>[secilse@gmail.com](mailto:secilse@gmail.com), <sup>4</sup>[megi@gsu.edu.tr](mailto:megi@gsu.edu.tr)

(Geliş/Received: 08.05.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 04.11.2018)

**ABSTRACT:** Diver carried computers are basically designed to measure the depth and time and provide safe ascent profiles in order to avoid decompression sickness in divers. All of the units in the market are based on embedded systems where the user cannot reprogram the units except entering limited number of dive parameters such as the content of cylinders and the conservatism of the computation.

An innovative system is designed and patented by the authors for implementing a diver carried computer using a mobile phone inside a pressure and waterproof housing in combination with an external microcontroller based electronic module. The aim of this work is to communicate the design of the key component of this system which is the external module built in order to measure pressure and temperature data and send them wirelessly to the mobile phone.

The external module compartment is placed adjacent to the mobile phone compartment. The impermeability is provided by two successive o-rings. A double lock system is used to prevent the external module and the mobile phone compartment from breaking apart underwater. The external module collects data from its sensors and peripherals and put them together into a so-called frame. This frame is transmitted to the mobile device using wireless communication (Wi-Fi or Bluetooth) and analyzed by the mobile device when received. This functionality is ensured by a minimalistic electronic design that includes a microprocessor, an oscillator, Wi-Fi module (IEEE 802.1x protocol) or Bluetooth, resistors and capacitors. The module is tested and benchmarked successfully with 7 existing dive computers in the market up to 42 m in open water conditions.

The system has the advantage of rapid model implementation and deployment, ability to run multi-model decompression procedures, user specific screen layout through the application of "skins", very large data logging capacity and all the advantages of mobile phones including sending post dive SMS messages in case of preset rules for emergencies, automatic wireless transfer of dive logs to research centers via internet and/or to dive center management services. Future projects target the use of photo and video recording, music and film playing capacities of mobile phones to entertain divers during long decompression stops as well. This platform is further expandable with additional modules to capture a wide variety of information such as oceanographic parameters like salinity, conductivity and dissolved oxygen.

**Key Words:** Bluetooth, Decompression sickness, Diver, Diving, SCUBA, Wi-Fi

### Akıllı Telefonları Dalış Bilgisayarına Dönüştürmek İçin Kablosuz Basınç Algılayıcı Modülü Geliştirilmesi

**ÖZ:** Dalgıçların sualtında kullandığı dalış bilgisayarları, temel olarak derinlik ve zamanı ölçmek, dekompresyon hastalığını önlemek için güvenli çıkış profillerini hesaplamak için tasarlanmıştır.

Piyasadaki tüm cihazlar gömülü sistemler üzerine geliştirilmiştir ve kullanıcıya, tüpteki gaz, hesaplamaların güvenlik seviyesi gibi sınırlı dalış parametrelerini değiştirebilmek dışında yeniden programlama imkânı vermez.

Yazarlar, dalıcının sualtında su geçirmez bir kasa içinde beraberinde taşıyabileceği akıllı telefona bağlanarak ortam basınç ve sıcaklığını ölçen mikro denetleyici tabanlı bir modül geliştirerek yenilikçi bir sistem tasarlamış ve patentini almışlardır. Bu makalede, sistemin kilit bileşeni olan ve basınç ve sıcaklık verilerini akıllı cihaza ileten dış modülün tasarımı konu edilmiştir.

Dış modül bölmesi, akıllı telefon bölümünün yanına yerleştirilmiştir. Su geçirmezlik iki ardışık conta (o-ring) ile sağlanmıştır. İkili bir kilit sistemi dış modül ve akıllı telefon bölmelerinin sualtında birbirlerinden ayrılmasını engellemektedir. Dış modül algılayıcıları ve çevre birimleri sayesinde çerçeve olarak adlandırılan veri toplamakta ve bu bilgileri bir "yapı (frame)" içinde birleştirmektedir. Bu çerçeve kablosuz bağlantı (Wi-Fi veya Bluetooth) ile mobil cihaza gönderilmekte ve analiz edilmektedir. Bu işlev bir mikro işlemci, osilatör, Wi-Fi modülü (IEEE 802.1x protokolü) veya Bluetooth, dirençler ve kapasitörler ile sağlanmaktadır. Modül, açık denizde, 42 metre derinliğe kadar başarı ile test edilmiş ve pazardaki 7 dalış bilgisayarı ile karşılaştırılmıştır.

Sistemin avantajları, hızlı model uygulama ve kullanımı, çok modellenmiş dekompresyon prosedürleri çalıştırabilme, kullanıcıya özel ekran tasarımları kullanabilme, akıllı telefonların avantajları ve SD kart olanağı ile büyük miktarda veri kaydı saklama kapasitesi ve dalış sonrası SMS gönderme, hazır acil durum kuralları, dalış kayırlarının araştırma merkezlerine ve/veya dalış merkezi yönetim birimlerine internet üzerinden otomatik gönderilmesi gibi akıllı telefonların tüm avantajlarından yararlanabilmesidir. Gelecek projeler, sualtında fotoğraf ve video çekme, uzun dekompresyon durakları sırasında dalıcının müzik dinleme ve film setretmesine olanak tanımayı içermektedir. Geliştirilen sistem ek modüller kullanılarak, tuzluluk, iletkenlik, çözünmüş oksijen gibi oşinografik parametrelerin ölçülmesi için kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** *Bluetooth, Dalış, Dalış, Dekompresyon hastalığı, SCUBA, Wi-Fi*

## INTRODUCTION

Recreational SCUBA diving has become a mass leisure activity engaging millions of divers worldwide. The age of electronic has arrived with the development of the modern electronic dive computer as the most significant advancement in self-contained diving since the invention of the Aqualung by Jacques Cousteau. A dive computer is basically a submersible digital depth gauge that predicts a safe ascent in order to avoid Decompression Sickness (DCS). Decompression Sickness (DCS) is believed to be due to gas bubbles formed in the tissues and circulatory system after an excessive reduction in the ambient pressure (Elliott and Moon, 1993).

The first approach to avoid DCS was to tabulate "safe" decompression profiles in form of "Dive Table". The tables were designed basically for square depth-bottom time profiles followed by staged decompression or decompression with a fixed ratio. DCS is modeled and preventions on designing safe ascent schedules were designed as early as 1908 (Boycott et al., 1908). However, they need continuous improvements on safety even today (U.S. Navy Diving Manual, 2016). An example of US Navy Air Decompression Tables is given in Figure 1.

Bottom Time (min)	Time to First Stop (M:S)	Gas Mix	DECOMPRESSION STOPS (FSW) Stop times (min) include travel time, except first air and first O <sub>2</sub> stop								Total Ascent Time (M:S)	Chamber O <sub>2</sub> Periods	Repet Group				
			100	90	80	70	60	50	40	30				20			
<b>180 FSW</b>																	
6	6:00	AIR									0	6:00	0	E			
		AIR/O <sub>2</sub>									0	6:00					
10	5:20	AIR									8	14:00	0.5	G			
		AIR/O <sub>2</sub>									4	10:00					
In-Water Air/O <sub>2</sub> Decompression or SurDO <sub>2</sub> Recommended																	
15	4:40	AIR							2	3	14	24:20	0.5	K			
		AIR/O <sub>2</sub>							2	2	7	16:40					
20	4:20	AIR							1	5	7	29	47:00	1	M		
		AIR/O <sub>2</sub>							1	5	3	15	29:20				
25	4:20	AIR							5	6	7	57	80:00	1.5	O		
		AIR/O <sub>2</sub>							5	6	4	24	44:20				
Exceptional Exposure: In-Water Air Decompression ——— In-Water Air/O <sub>2</sub> Decompression or SurDO <sub>2</sub> Required																	
30	4:00	AIR							3	6	6	7	95	121:40	1.5	Z	
		AIR/O <sub>2</sub>							3	6	6	4	34	63:00			
35	3:40	AIR							1	5	6	6	22	144	188:20	2	Z
		AIR/O <sub>2</sub>							1	5	6	6	11	41	79:40		
Exceptional Exposure: In-Water Air/O <sub>2</sub> Decompression ——— SurDO <sub>2</sub> Required																	
40	3:40	AIR							2	6	5	13	28	178	236:20	2.5	
		AIR/O <sub>2</sub>							2	6	5	13	14	48	97:40		
45	3:40	AIR							4	5	10	20	28	235	306:20	3	
		AIR/O <sub>2</sub>							4	5	10	20	14	63	130:40		
50	3:40	AIR							4	8	13	25	29	277	360:20	3.5	
		AIR/O <sub>2</sub>							4	8	13	25	15	75	154:40		

Figure 1. Dive Table for 180 feet (US Navy Diving Manual).

The use of tables is still valid for military and commercial diving areas; however, typical recreational diving excursion involves multilevel and repetitive dives. The conservative use of dive tables was challenged firstly by analog computers allowing the estimation of inert gas exchange at each dive depth and allowing more bottom time. They were followed soon by digital dive computers. The most important advantage of these computers is that they collect real-time pressure data and they theoretically calculate the amount of nitrogen dissolved in tissues according to actual depth of diver. As the result, they are more effective than dive tables. Digital dive computer's function may include measurement of tank pressure, ambient temperature, theoretical computation of acute oxygen poisoning as well (Azzopardi and Sayer, 2010). The photos of some modern dive computers are given in Figure 2.



Figure 2. Examples of dive computers.

On the other hand, all of the units in the market are based on embedded systems where the user does not have access to an operating system, and have limited programming options except entering limited number of dive parameters such as the content of cylinders and the conservatism of the computation, Consequently, actual dive computers can be defined as automatized gauges rather than “real computers” as their functions cannot be expanded and their algorithms cannot be assessed or altered according to different needs. Users have no possibility to use the data they store in computers for example with different algorithms and prepare post dive reports.

Research has been conducted to implement a diver carried computer using mobile phones protected in a pressure and waterproof housing (Dalış Bilgisayarı Tasarımı ve İmalatı; The Scientific and Technological Research Council of Turkey TÜBİTAK Project). Communicating wirelessly with an external microcontroller based electronic module equipped by sensors, the phone is able to collect data about ambient pressure and temperature. The decompression App developed for IOS and Android mobile phone can use these data to provide safe decompression profiles and some other useful information to divers (DepthMonitor App available at Google Play and iTunes). It can also benefit from mobile phone features in emergencies for sending automatic post dive messages, Global Positioning System (GPS) to mark dive locations and data storage capacity for dive logbook and photos. This system has been patented (Patent TR2009 02025B) and commercialized (Cep Telefonu ve PDA Tabanlı Dalış Bilgisayarlarının Üretim Altyapısının Geliştirilmesi ve Ticarileştirilmesi Projesi- Small and Medium Enterprises Development Organization of Turkish Science, Industry and technology Ministry) under the name “Divephone” as a groundbreaking alternative to dive computers. The aim of this work is to communicate the design of the key component of this system which is an external module built to send pressure and temperature data to the mobile device wirelessly.

## MATERIAL AND METHOD

High frequency RF communication is not widely used in underwater applications. RF signals are attenuated to a great extent underwater. Therefore, the effectiveness of the signals is diminished. The following equation shows the changes of this attenuation;

$$\alpha = 0.0173 \sqrt{(f\sigma)} \quad (1)$$

The equation where  $\alpha$  is attenuation in dB/meter,  $f$  is frequency in hertz, shows that attenuation increases as frequency rises and finally  $\sigma$  is conductivity in mhos/meter. This shows that low frequency transmission should be used for the underwater applications.

### Practical Approach

In order to avoid the attenuation problem, two PDA devices are used to test the operation of short range Bluetooth and Wi-Fi transmission underwater. Two devices are put into the sealed boxes and file transfer over Bluetooth between two devices tried to be established. One of the devices is set as the sender whereas the other one is set as the receiver. First, two devices are located by 1-meter distance to each other. It is observed that no transfer could be established. When the distance set to less than 10 cm, the transfer could be established. This distance depends on temperature and salinity as well. In Figure 3, photos of the experiments on Bluetooth transmission underwater are given.





**Figure 3.** Experiments on Bluetooth transmission underwater.

Based on the results of the tests, it seems that reasonable to conclude that high frequency RF transmission underwater over a short distance is possible. There are two types of modules one of which is Wi-Fi to be used with iOS based mobile devices such as iPhone, iPod touch. The other one is Bluetooth to be used with Android based mobile devices.

### Mobile Phone Housing

The housing is used to protect the mobile device from water under pressure and to carry the external module beside the mobile device. It has;

- Rectangular shape with 118x61 mm internal dimensions
  - The housing internal size is determined with respect to the iPhone 4/4S; thickness +5 mm, height +2.5 mm which is 16 mm.
  - A transparent window topside of the dry compartment enabling the user to see the screen of the mobile device clearly
  - A double lock cover system uniting the external module with the mobile device compartment
  - A soft laying preventing the mobile device from being scratched and getting loose into the housing
- A ring (or a hole) to attach the system to the diver's gear
- Slots for strap enabling the diver to put the system on this arm
- Rated to 75 m (tested to 117.5 m)

The photo of the system's mobile phone housing is given is Figure 4.



**Figure 4.** The housing of the mobile phone.

The housing's window for mobile device's screen is to be made by polycarbonate. It is mounted to the housing by multiple screws. The polycarbonate is demountable to be changed by a new one if broken. The user is able to see the mobile device's screen easily when the temperature measured between 0°C (32°F) and 60°C (140°F). The PDA compartment of the housing is sealed with o-ring and lock system. The closing system includes a secondary locking mechanism

#### **Wireless Module Design**

The main aim of the external module is to send dive data to the mobile device wirelessly. There are two types of modules one of which is Wi-Fi to be used with iOS based mobile devices such as iPhone, iPod touch. The other one is Bluetooth to be used with Android based mobile devices. As shown in Figure 5, the external module has,

- An independent housing/compartament rated to 75 m (tested to 117.5 m), such that if it is flooded the housing of the mobile device will not be affected.
- 3x5 cm dimensions
- Battery compartment with cover to allow the user the user for replacement of the battery

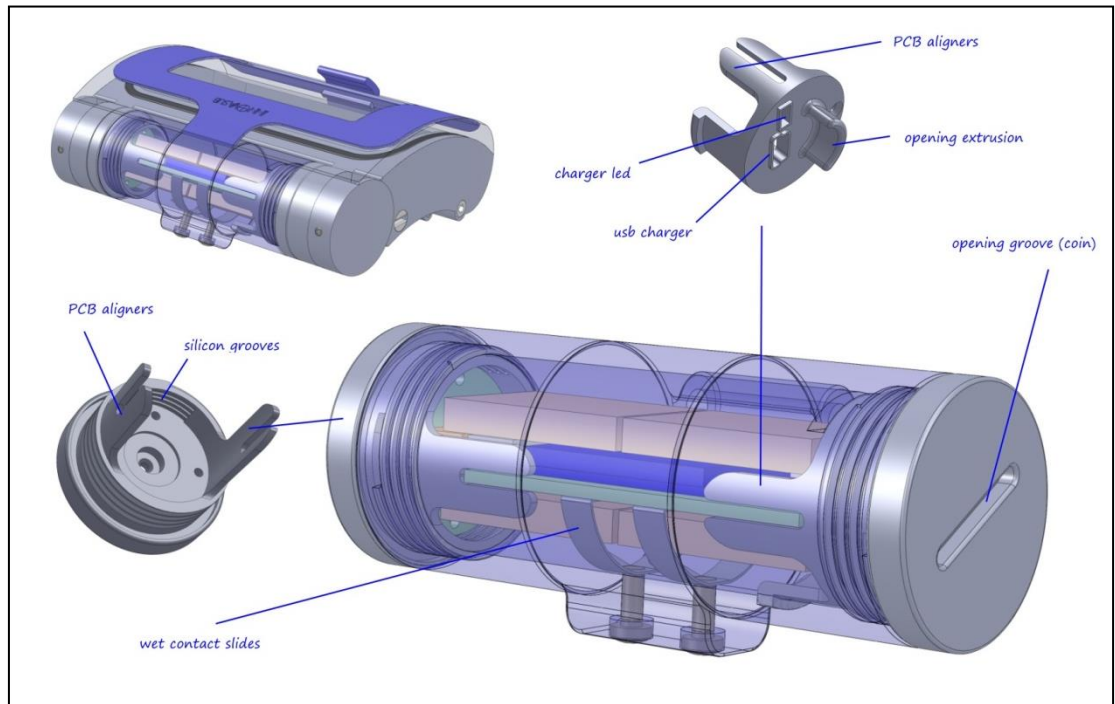


Figure 5. External module drawings.

On the PCB side which is electronic board development part, the module has following components,

- A microprocessor
- An oscillator
- Wi-Fi module (IEEE 802.1x protocol) or Bluetooth
- Resistors
- Capacitors

In addition to the mechanical and electronically parts, the following components are the parts soldered separately,

- An integrated pressure and temperature sensor
- Wet contacts
- Battery

The external module compartment is placed adjacent to the mobile phone compartment. The impermeability is provided by two successive o-rings. A double lock system is used to prevent the external module and the mobile phone compartment from breaking apart underwater. The lock system is designed not to get cause entanglement. The external module checks for the wet contact every 180 seconds. If the contact is cut, it returns to sleep mode after the next check. Upon wakeup, the external module shall begin to sense the pressure (depth), temperature and send the data by IEEE 802.1x protocol to the mobile device. The external module's circuit design is given in Figure 6.

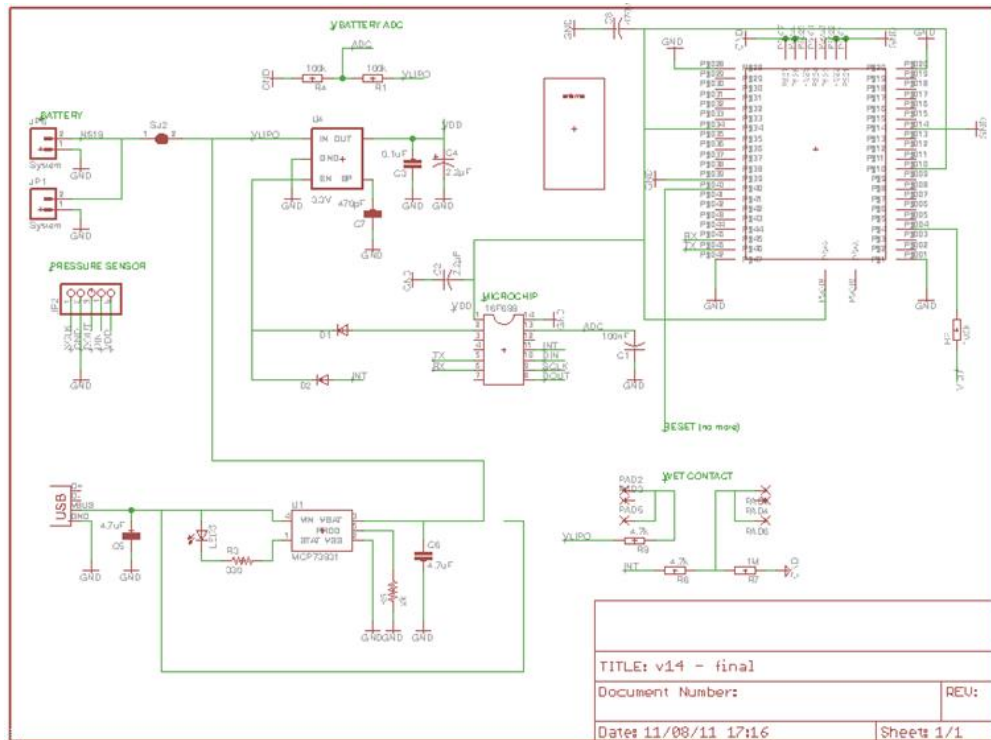


Figure 6. External module circuit design.

The battery compartment of the external module has no opening to the mobile device compartment so that the mobile device compartment is not affected in case of leaking. In addition to this, each module has a Serial Number, buried inside the cover of its housing.

**Communication Protocol and the External Module Firmware**

The purpose of the communication protocol between the external module and the cell- phone is to transmit the measures of the module to the mobile device with the best speed, reliability and safety of communication. The external module collects data from its sensors and peripherals and put them together into a so-called frame. This frame is transmitted to the mobile device using wireless communication (Wi-Fi or Bluetooth) and analyzed by the mobile device when received. A frame is made up with data collected by the module and some additional data in order to help the mobile device application to read the frame. In order to ensure that every data (frame) sent by the module will be properly received and read by the mobile device, the mobile device must send an acknowledge signal. This is a frame sent by the mobile device to inform the module a frame was properly received. If the module doesn't receive any acknowledge, it keeps sending the same frame to make sure the mobile device will receive it. Meanwhile, it stores the new frame to be sent into its flash memory (buffer) to send them later.

**Frames**

It would be wise to describe all the frames. Frame structure is the base idea of the mobile device-based sensor development board. New frames can be specified and included into the monitoring system.

**Pressure sensor frame**

The pressure sensor frame contains the measures of the pressure sensor. Namely the pressure value (mbar) and the temperature. Time is the time the frame was generated by the module, in second. Time is

an unsigned short that starts from 0 at the start-up of the module and counts the seconds. The maximum count of Time is 65535. Temperature is coded as a signed Integer on two bytes (short). Its unit is 0.01°C. Its range is from -327.68°C to 327.67°C. The diagram of the pressor sensor frame is shown in Figure 7.

<b>Name</b>	<b>Header</b>	<b>Frame Head.</b>	<b>Frame Id.</b>	<b>Time</b>	<b>Temp.</b>	<b>Pres.</b>	<b>Cksm</b>
<b>Type (size)</b>	Char	Char	Short	Short	Short	Float	Char
<b>Size</b>	1 By.	1 By.	2 By.	2By.	2 By.	4 By.	1 By
<b>Value</b>	'@'	'P'					

Figure 7. Diagram of pressure sensor frame

Pressure is coded as a float (four bytes). Its unit is 1bar and its precision is 0.00001bar = 0.01mbar = 10µbar. Its range is infinity. For instance, if the HEX value received is: "40 08 93 9F", then its decimal float value is 2.13401 which makes 2.13401bar.

Battery frame

The battery frame contains the ADC values of the Battery level acquisition and the of the +3V3 Line level acquisition. Time is the time the frame was generated by the module, in second. Time is an unsigned short that starts from 0 at the start-up of the module and counts the seconds. The maximum count of Time is 65535. The diagram of the battery frame is shown in Figure 8.

<b>Name</b>	<b>Header</b>	<b>Frame Head.</b>	<b>Frame Id.</b>	<b>Time</b>	<b>BattADC</b>	<b>+3V3ADC</b>	<b>Cksm</b>
<b>Type (size)</b>	Char	Char	Short	Short	Short	Short	Char
<b>Size</b>	1 By.	1 By.	2 By.	2By.	2 By.	2 By.	1 By
<b>Value</b>	'@'	'B'					

Figure 8. Diagram of battery frame

BattADC is an unsigned short representing the ADC value of the acquisition of the battery level. +3V3ADC is an unsigned short representing the ADC value of the acquisition of the +3V3 Line level.

Message frame

Time is the time the frame was generated by the module, in second. Time is an unsigned short that starts from 0 at the start-up of the module and counts the seconds. The diagram of the message frame is shown in Figure 9.

<b>Name</b>	<b>Header</b>	<b>Frame Head.</b>	<b>Frame Id.</b>	<b>Time</b>	<b>Message</b>	<b>Cksm</b>
<b>Type (size)</b>	Char	Char	Short	Short	Char	Char
<b>Size</b>	1 By.	1 By.	2 By.	2By.	1 By.	1 By
<b>Value</b>	'@'	'M'				

Figure 9. Diagram of message frame

The maximum count of Time is 65535 which correspond to 43 days of running. Message is a char (1 byte) having a meaning. There are 256 different possible messages (see below). The diagram of the message definitions is shown in Figure 10.

Message	Value (decimal)	Description
ERROR	10	Error, general meaning.
ERROR_PRESSURE_SENSOR	11	The pressure sensor does not deliver any value. Communication with the sensor may be broken. The Sensor will be Reset.
BATTERYLOW	254	The battery level is low (<3.3V)
BOARD_SHUTDOWN	255	The module will soon shutdown

Figure 10. Diagram of some message definitions.

## RESULTS

The Divephone basic module is tested and benchmarked successfully with 7 existing dive computers in the market up to 42 m in open water conditions and in dry chamber. Considering that one of the most critical concerns is the correct data collection from external module, the wireless communication between the modules and the mobile phone were tested and were proven to relay data without loss for Wi-fi and Bluetooth communication protocols. In Figure 11, a photo of the system used by a diver underwater is given. In Figure 16, another diver with the system is diving in İstanbul Aquarium.



Figure 11. The system during a dive in Sharm el Sheik (Egypt)

The system's surface display, underwater display, display after entering decompression and a logged dive are shown in Figure 12, Figure 13, Figure 14 and Figure 15 respectively.

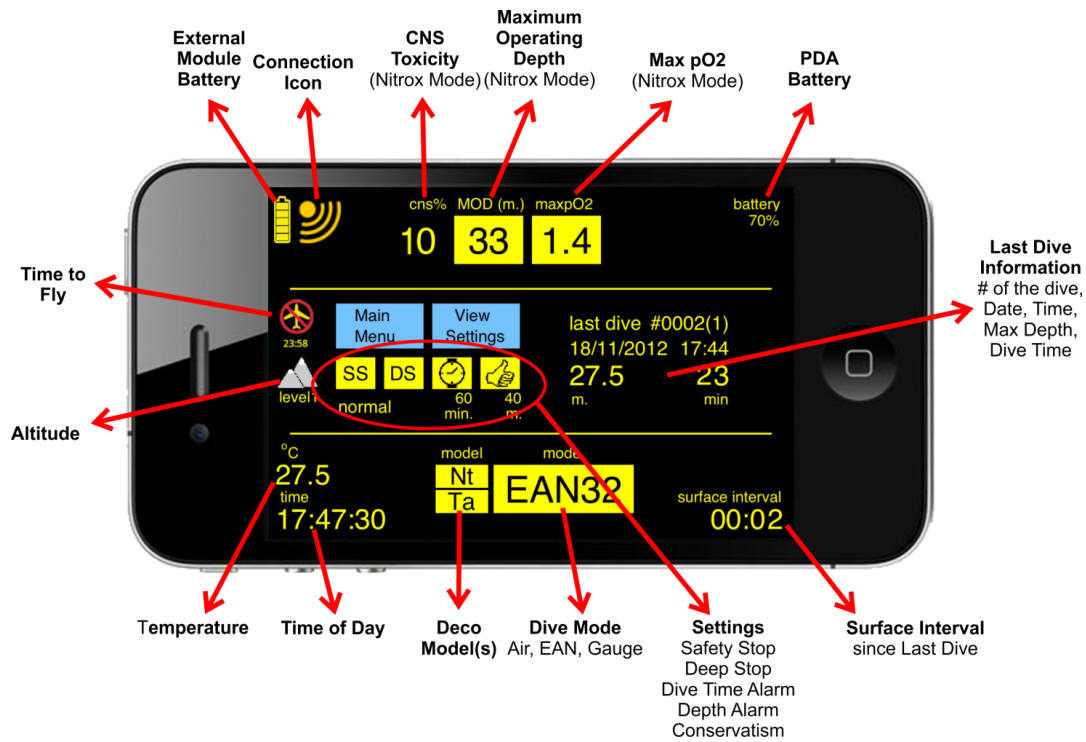


Figure 12. The system's surface display.

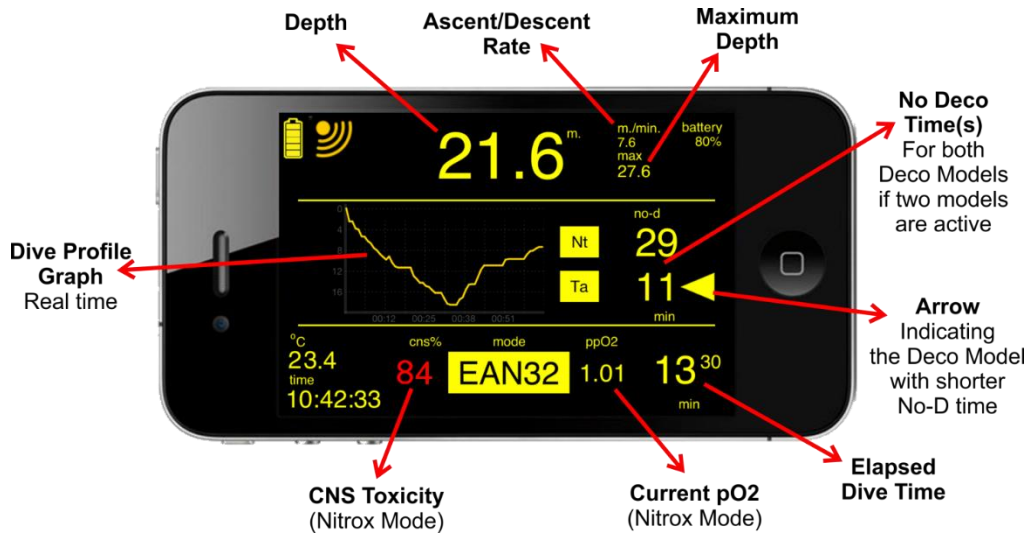


Figure 13. The system's underwater display.

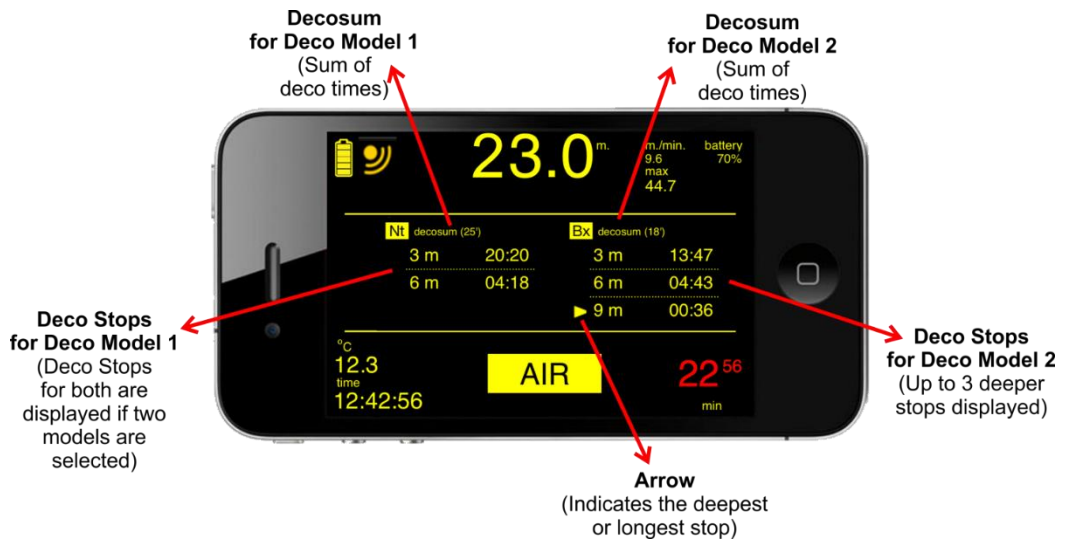


Figure 14. The display after entering to decompression.

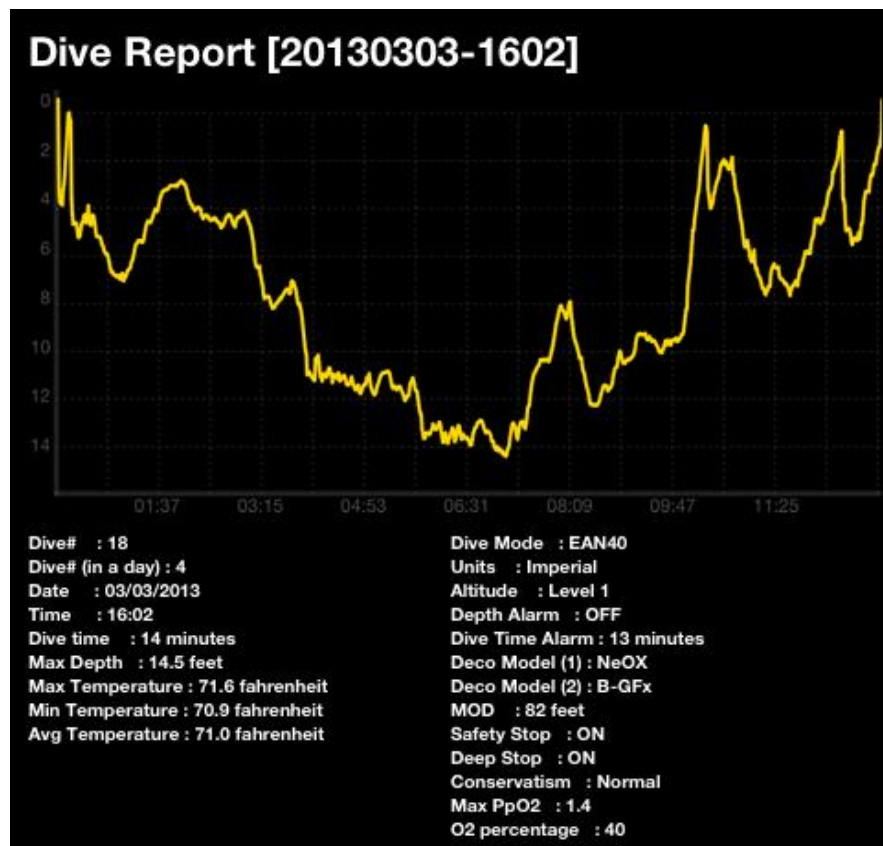


Figure 15. A logged dive sent by e-mail.





**Figure 16.** Divephone system underwater in İstanbul Aquarium.

### **Algorithm Validation Tests Results**

The system, both pressure (and depth) measurement and application algorithm for providing a safe ascent schedule are tested by comparing with trusted dive computers widely used in diving community. One can find a variety of methods to algorithm validation (Huggins, 2006), (Lippmann, and Wellard 2004), (Blogg et al. 2004) and safety assessment (Sayer et al. 2016) of dive computers. For validating the Divephone system, we compared No-Deco limits and ascent schedules calculated by our system and various dive computers in markets. In Figure 17, an example for algorithm validation test form can be seen. In this for, the No-Deco Limits calculated by two decompression models of the system are compared with Suunto Vytec (Suunto – Vantaa, Finland) and Oceanic Veo (Oceanic Worldwide - San Leandro, California, United States). The No-Deco Limits calculated by both decompression models are consistent with the values calculated by the two different computers used as benchmarks.

Depth Monitor No-D Limitleri Dahş Testi – Doküman no: 506

30 dakika saath zamani 15:54

	9 m 30 ft	12 m 40 ft	15 m 50 ft	18 m 60 ft	21 m 70 ft	24 m 80 ft	27 m 90 ft	30 m 100 ft	33 m 110 ft	36 m 120 ft	39 m 130 ft	42 m 140 ft	45 m 150 ft	48 m 160 ft	51 m 170 ft	54 m 180 ft	57 m 190 ft
Model 1 No-D	116	56	37	27	20	16	12	10	9	8	7	6	5	4			
Model 2 No-D	199	77	38	24	16	12	9	8	6	5	5	4	4	3			
Dahş Bilgisayarı 1 No-D	114	47	26	18	14	11	9	8	7	6	6	5	4				
Dahş Bilgisayarı 2 No-D	198	95	55	35	26	19	15	12	11	9	6	3					

1 saat saath zamani Speed: 16:22

	9 m 30 ft	12 m 40 ft	15 m 50 ft	18 m 60 ft	21 m 70 ft	24 m 80 ft	27 m 90 ft	30 m 100 ft	33 m 110 ft	36 m 120 ft	39 m 130 ft	42 m 140 ft	45 m 150 ft	48 m 160 ft	51 m 170 ft	54 m 180 ft	57 m 190 ft
Model 1 No-D	137	69	47	35	27	20	16	14	12	9	8	7	6	5			
Model 2 No-D	199	92	49	32	22	16	12	9	8	7	6	5	4	4			
Dahş Bilgisayarı 1 No-D	131	69	40	28	22	18	15	12	10	8	6	5	4				
Dahş Bilgisayarı 2 No-D	203	108	65	43	32	23	18	15	13	11	7	4					

8 | Innovasub – Depth Monitor Test Dokümanları ©2012

Figure 17. No-Deco Limits Test Form.

As the result, the system collects pressure and temperature data from external module and runs the decompression algorithms without any problem. Wide screens of PDAs inform the diver about current dive parameters and decompression plan effectively and the warnings are noticed easily.

## DISCUSSION

Twenty-five years after modern day dive computer introduction, several key questions remain surrounding the decompression models used, validation and human testing, acceptable risk, limitations, failures, and operational reliability mainly due to the lack of cooperation between dive computer manufacturers and scientists (Lang and Brubakk, 2009). The system described in this communication offer a better platform for such cooperation. The system has many advantages against conventional dive computers. First of all, it is flexible as it allows rapid model implementation and deployment. The algorithms and user interface can be altered quickly with some programming adjustments. The system has the ability to run multi-model decompression procedures, user specific screen layout through the application of "skins", very large data logging capacity using external SD Cards and all the advantages of mobile phones including sending post dive SMS messages in case of preset rules for emergencies, automatic wireless transfer of dive logs to research centers via internet and/or to dive center management services.

Future projects target the use of photo and video recording, music and film playing capacities of mobile phones to entertain divers during long decompression stops as well. The platform is further expandable with additional modules to capture a wide variety of information such as oceanographic parameters like salinity, conductivity and dissolved oxygen. Consequently, it can be used not only for safety and comfort of divers but also as a convenient data collecting and processing device for underwater scientific studies.

## ACKNOWLEDGEMENT

Dalış Bilgisayarı Tasarımı ve İmalatı; The Scientific and Technological Research Council of Turkey TÜBİTAK Project.

Cep Telefonu ve PDA Tabanlı Dalış Bilgisayarlarının Üretim Altyapısının Geliştirilmesi ve Ticarileştirilmesi Projesi- Small and Medium Enterprises Development Organization of Turkish Science, Industry and technology Ministry.

## REFERENCES

- Azzopardi, E., Sayer, M.D.J., 2010. A review of the technical specifications of 47 models of diving decompression computer. *International Journal of the Society for Underwater Technology*, 29, 63–70.
- Blogg, S. L., Michael, A. L., Møllerløkken, A., 2011. In: Proceedings of the Validation of Dive Computer Workshop. EUBS and Akademika Publishing. Ağustos 24. Gdansk, Poland, 128 p.
- Boycott, A.E., Damant, G.C.C., Haldane, J.S 1908. The Prevention of Compressed-air Illness. *Journal of Hygiene*, 8, 342–443.
- Cep Telefonu ve PDA Tabanlı Dalış Bilgisayarlarının Üretim Altyapısının Geliştirilmesi ve Ticarileştirilmesi Projesi- Small and Medium Enterprises Development Organization of Turkish Science, Industry and technology Ministry. Patent TR2009 02025B.
- Dalış Bilgisayarı Tasarımı ve İmalatı. The Scientific and Technological Research Council of Turkey TÜBİTAK Project.
- Elliott, D.H., Moon, R.H., 1993. Manifestations of the decompression disorders: *The Physiology and Medicine of Diving*. Peter Bennett and David Elliott, Eds., London, 481p.
- Huggings, K.E., 2006. Evaluation of Dive Computer Options for Potential Use in 300 fsw Heliox/Trimix Surface Supplied Scientific Diving. In: Advanced Scientific Diving Workshop; February 23-24; Smithsonian Institution, Washington DC, USA.
- Lippmann, J., Wellard, M., 2004. Comparing Dive Computers. *South Pacific Underwater Medicine Society (SPUMS) Journal*, 34, 124-129.
- Patent TR2009 02025B. Hardware, allowing pocket computers to establish wireless communication with sensors measuring various ambient conditions, diver and diving parameters, and a waterproof container thereof.
- Sayer, M.D.J., Azzopardi, E., Sieber, A., 2016. User settings on dive computers: reliability in aiding conservative diving. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 46, 98-110.
- Symposium on Future of Diving-2009. 10 Years of Haldane and Beyond Location: Norwegian Univ Sci & Technol, Baromed & Environm Physiol Grp. By: Lang, Michael A.; Angelini, Sergio (Editors: Lang, M.A.; Brubakk, A.O.). Trondheim, NORWAY, 128 p.
- U.S. Navy Diving Manual, Rev7, SS521-AG-PRO-010, Naval Sea Systems Command, 01 December 2016, 2, 63-86.

## SERVQUAL ÖLÇEĞİ İLE YAŞLI BAKİMEVLERİNDE HİZMET KALİTESİNİN ÖLÇÜMÜ

<sup>1</sup>Suna ÇETİN, <sup>2</sup>Hamza KUZUCU

<sup>1,2</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü 71450, KIRIKKALE

<sup>1</sup>sunacetin@kku.edu.tr, <sup>2</sup>hdk968@gmail.com

(Geliş/Received: 15.11.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 03.01.2019)

**ÖZ:** Değişen doğum ve ölüm oranları nüfus yapısını şekillendirmektedir. Ölüm ve doğurganlık oranlarındaki azalmaya bağlı olarak yaşam süreleri de uzamıştır. Bu nedenle genç yaş gruplarından, ileri yaş gruplarına doğru bir geçiş meydana gelmiştir. Yaşlı nüfus sayısındaki artışın en temel etkeni doğurganlıktaki düşüştür. Ayrıca aile yapısındaki değişimler de yaşlı bakımevlerine olan ihtiyacı arttırmıştır. Yaşlı bakımı oldukça karmaşık ve zor bir hizmettir. Bakım yapacak kişilerin sabır ve şefkat duygularının gelişmiş olması ve aynı zamanda bakım ile ilgili yeterli bilgi ve donanımına da sahip olmaları gerekmektedir. Sunulan hizmetin kalitesi, bireyleri ve varsa o bireylerin ailelerini tatmin edici nitelikte olmalıdır. Bu çalışmada Ankara'da devlet bünyesinde faaliyet gösteren üç farklı yaşlı bakım evlerinde sunulan hizmetin kalitesini ölçmek amacıyla Servqual ölçeği kullanılmıştır. Bireyler üzerinde anketler yapılarak, algılanan hizmet ve beklenen hizmet kalitesi arasındaki farklılıklar ölçülmüştür. Üç bölümden oluşan ankette birinci bölümde demografik bilgilere yer verilirken, ikinci bölüm beklenen hizmet kalitesini ölçmeye yönelik, üçüncü bölüm algılanan kaliteyi ölçmeye yönelik soruları içermektedir. Ayrıca üç bakımevi sakinlerinin hizmet kalitesi memnuniyet durumları cinsiyet ve eğitim düzeyine göre değerlendirilmiştir.

Çalışmanın sonucunda üç yaşlı bakımevi sakinlerinin genel olarak hizmetten memnun olduğu ancak (A) yaşlı bakımevi sakinlerinin empati boyutunda hizmetten memnun olmadığı görülmüştür. Cinsiyete göre değerlendirme yapıldığında A yaşlı bakımevinde kadınların aldıkları hizmetten memnun olduğu erkeklerin aldıkları hizmetten memnun olmadığı buna karşın B ve C yaşlı bakımevlerinde her iki gruba da aldıkları hizmetten memnun oldukları görülmüştür. Eğitim durumuna göre değerlendirme yapıldığında; A yaşlı bakımevinde ilkökul ve üniversite mezunlarının aldıkları hizmetten memnun olduğu ancak ortaokul ve lise mezunlarının memnun olmadığı sonucuna varılmıştır. B yaşlı bakımevinde dört grubunda aldıkları hizmetten memnun oldukları, C yaşlı bakımevinde ise ilk ve ortaokul mezunlarının aldıkları hizmetten memnun olmadıkları belirlenmiştir. Üç bakımevi birlikte değerlendirildiğinde hem kadınların hem erkeklerin aldıkları hizmetten memnun kaldıkları, eğitim açısından ele alındığında ise sadece ortaokul mezunlarının aldıkları hizmetten memnun olmadıkları görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Hizmet kalitesi, Servqual, Yaşlı bakımevi, Yaşlı bakımı

### The Measurement of Service Quality in Elder Care House with Servqual

**ABSTRACT:** Changing birth and mortality rates shape the population structure. Life span is also prolonged due to reduction in mortality and fertility rates. Therefore, there has been a transition from young age groups to older age groups. The most important factor in the increase in the number of elderly population is the decrease in fertility. In addition, changes in the family structure have increased the need for elderly care homes. Providing care for the elderly is an extremely complex and difficult service. It is necessary that the people who provide care must have improved patience, compassion,

sufficient information and equipment for providing care. The quality of the service that is provided must be satisfactory for the individuals, and for their families -if any. In this study, the Servqual Scale was employed for the purpose of measuring the quality of the service that is provided in three different Public Nursing Homes located in Ankara. The differences between the perceived service quality and the expected service quality were measured by using questionnaires on individuals. In the questionnaire, which consisted of three sections, the first part included the demographic data, the second section included the questions that aimed to measure the perceived quality, and the third section included the questions that aimed to measure the expected quality. In addition, the satisfaction status about the service quality of the residents in these three Nursing Homes was evaluated in terms of genders and education levels.

As a result of the study, it is observed that the residents of three nursing homes were generally satisfied with the service; however, (A) the elderly nursing home residents are not satisfied with the service in terms of empathy. When evaluated according to gender, it is observed that women were satisfied with the service they received in the elderly nursing home and men were not satisfied with the services they received; however, in both the B and C elderly nursing homes both women and men were satisfied with the service they received. When the assessment is made due to education; it is concluded that primary school and university graduates in Nursing home A were satisfied with the service they received in A nursing home, but secondary and high school graduates were not satisfied. In four groups due to graduation in B nursing home was satisfied with the service they received, primary school and secondary school graduates in C nursing home were not satisfied with the service they received. When the nursing home was evaluated together, it is seen that both women and men were satisfied with the service they received, and when they were evaluated due to education, only secondary school graduates were not satisfied with the service they received.

**Key Words:** *Elder care, Elderly Nursing Home, Service quality, Servqual*

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hızlı nüfus artışına ek olarak; kentleşme, iç ve dış göçler nedeniyle çekirdek aileye dönüşüm, geniş aile sayısının azalması, ekonomik sorunların varlığı, kadınların çalışma yaşamına katılması, sonucu konutların küçülmesi nedeniyle yaşlılar için uygun ve yeterli ortam olmaması, gençlerin yaşlılığa bakış açısı, kuşaklar arası iletişim bozuklukları, yaşlanmayla birlikte sağlığın bozulması ve bağımlılık yaşlıların evde bakımını güçleştirmiştir.

Bir ülkede yaşlıların genel nüfusa oranı yüzde 4'ten az ise genç nüfuslu, yüzde 4-7 arasında ise erişkin nüfuslu, yüzde 7-10 arasında ise yaşlı nüfuslu ve yüzde 10'un üzerinde ise çok yaşlı nüfuslu ülke olarak değerlendirilmektedir. Türkiye 7,8 oranı ile dünya sıralamasında 13.sırada yer almaktadır(Kuzu).Bu oranın 2050 yılında yüzde 22'yi bulması öngörülmektedir. Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığına bağlı yaşlı bakımevlerinde 13159, özel yaşlı bakımevlerinde 6659 olmak üzere toplamda 19818 kişi kalmaktadır. Türkiye'de yaşlı hizmetleri içinde ilk sırayı sosyal güvenlik programları ve sosyal hizmet programları çerçevesinde yaşlı bakımevleri almaktadır(Ardahan,2010). Bu çalışmada yaşlı bakımevlerinde sunulan hizmetin kalitesinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Yaşı ilerleyen bireylerin huzurlu bir ortamda korunması, bakımı, sosyal ve psikolojik gereksinimlerinin karşılanması amacıyla kurulan yaşlı bakımevlerinde sunulan hizmetin kalitesi çok önemlidir. Bu yüzden bireylerin beklentilerinin ne ölçüde karşılandığı belirlenmek istenmiştir. Çalışmada Ankara'da faaliyet gösteren üç yaşlı bakımevinde uygulama yapılmıştır. Bu kuruluşlarda kalan bireylerin algıladıkları ve beledikleri hizmet kalitesinin belirlenmesi için anket yapılarak kurumların hizmet kalitesinin belirlenmesi amacıyla Servqual ölçeği kullanılmıştır.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde yaşlı bakımevleri ve hizmet kalitesi ile ilgili genel bilgilerden bahsedilmiştir. İkinci bölümde hizmet kalitesi ve hizmet kalitesi ölçümünde kullanılan tekniklere yer verilmiştir. Üçüncü bölümde hizmet kalitesi ile ilgili literatürdeki çalışmalardan

bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde yapılan uygulamaya yer verilmiştir. Son bölümde ise uygulamada elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

### HİZMET KALİTESİ (SERVICE QUALITY)

Literatürde hizmet kavramı, tüketicilerin isteklerinin gerçekleştirilmesini sağlayan ve zorunlu olarak bir ürünün veya hizmetin satışına bağlı olmadan gerçekleşen faaliyetlere denilmektedir. Hizmet kalitesi ise verilen hizmetin müşteri beklentilerini ne ölçüde karşıladığı olarak ifade edilmektedir. Bu tanımlamalardan anlaşıldığı üzere müşterilere sunulan faaliyetlerin beklentileri ne kadar karşıladığı hizmet kalitesinin düzeyini belirleyen en önemli kriterdir. Eğer algılanan kalite beklenen kalitenin çok altında kalıyorsa bu durumda müşteri yeterince tatmin olmaz ve memnuniyet seviyesi düşer (Yumuşak, 2006).

Hizmet sektörüne verilen önem arttıkça ekonomi içinde de önemli bir konum kazanmaktadır. Son yıllarda ekonomide hizmet sektörünün katkısı önemli boyutlara ulaşmıştır. (Güzel ve Kotan, 2013). Müşterilere sunulan hizmetin kalitesi herkes için aynı seviyede anlaşılabilir değildir. Hizmet kalitesi anlayışındaki bu farklılık ve esneklik araştırmacılar için ölçülebilir bir kavram olarak nitelendirilmektedir. Çoğu hizmet kalitesinin beklentileri ve performanslarının karşılaştırılması araştırmacılar tarafından çeşitli teknikler ile yapılmaktadır. Algılanan hizmet kalitesinin değerlendirilebilmesi için literatürde kullanılan çeşitli ölçekler bulunmaktadır. Bu ölçeklerden en yaygın kullanılanları Grönroos yaklaşımından geliştirilen Servqual ve Servperf ölçekleridir. Servperf ölçeği algılanan hizmet kalitesini değerlendirirken müşteri beklentilerini dikkate almadan sadece performansa odaklanmaktadır. (Türk, 2009).

Hizmet kalitesi ölçülmesinde kullanılan bazı yöntemler: Toplam Kalite Endeksi, Servqual, Servperf, Kritik Olay Yöntemi, Hizmet Barometresi (Linjefly), İstatistiksel Yöntemler ve diğer yöntemler olarak özetlenebilir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı Parasuraman, V.A. Zeithaml ve Leonard L.Berry tarafından geliştirilen SERVQUAL ölçeğidir. Bu ölçeğin kullanılmasında anket uygulanmakta ve anket soruları da kendi içerisinde beş boyutta değerlendirilmektedir. Ele alınan boyutlar Çizelge 1’de verilmiştir.

#### Çizelge 1. Hizmet kalitesi ölçütleri (Eleren vd. 2007)

Table 1. Service Quality Criteria (Eleren vd. 2007)

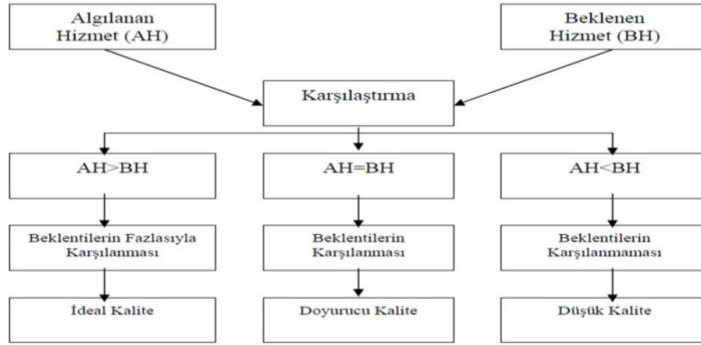
ÖLÇÜT ADI	ÖLÇÜT TANIMI
<i>Fiziksel Özellikler</i>	İşletmenin hizmet sunumundaki bina, araç-gereç ve personel görünümü
<i>Güvenilirlik</i>	Söz verilen bir hizmeti doğru ve güvenilir bir şekilde yerine getirebilme yeteneği
<i>Heveslilik</i>	Yardım etme ve hızlı hizmet verme istekliliği
<i>Güven</i>	Çalışanların bilgili, nazik olmaları ve güven duygusu uyandırabilme becerileri
<i>Empati</i>	Çalışanların kendilerini sakinlerin yerine koyması ve kişisel ilgi göstermeleri

Uygulamada hizmet kalitesinin belirlenmesi için yapılan ilk ankette bekledikleri kalite, ikinci ankette algıladıkları kalitenin belirlenmesi hedeflenmiştir. İlk aşamada bulunan beklenti değerleri ile ikinci aşamada bulunan algı değerleri arasındaki fark verilen hizmetin kalitesini (Servqual skorunu) hesaplamaktadır. Hizmet kalitesinin hesaplanması denklem 1’de verilmiştir. (Filiz ve Kolukısaoglu 2013)

$$\text{Hizmet Kalitesi} = \text{Algılanan Hizmet} - \text{Beklenen Hizmet} \quad (1)$$

Hizmet kalitesi ölçümü sonucunda beklenen hizmetin algılanan hizmetten büyük olması durumunda verilen hizmetin kalitesinin iyi olmadığı ve düzeltmeler yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Beklenen hizmet kalitesi algılanan hizmet kalitesinden küçük ise hizmetin kalitesinin iyi olduğu yani memnun olunduğu sonucu çıkmaktadır. Beklenen hizmet kalitesi ile algılanan hizmet kalitesinin eşit olması verilen hizmetin kalitesinin yeterli olduğu ancak daha iyi olabilmesi için

iyileştirmelerin yapılması gerektiği sonucu çıkmaktadır. Hizmet kalitesinin hesabına ilişkin akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Algılanan Hizmet Kalitesi (Bulgan 2002)

Figure 1. Perceived Service Quality

## LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Hizmet kalitesi kavramı literatürde araştırmacıların ilgi odağı halindedir. Son yıllarda müşteri memnuniyetinin ön plana çıkması işletmeleri bu konuda ciddi araştırmalar yapmaya sevk etmiştir. İşletmeler sundukları hizmet kalitesindeki tatminkârlık seviyesini arttırmak için çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Aynı zamanda müşteriler üzerinde oluşan algı kalitesindeki başarısızlıkların nedenlerini araştırmaya yönelik çalışmalar da yürütmektedir. Literatürde ise hizmet kalitesinin ölçümü üzerine farklı sektörlerde uygulamalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları bu başlık altında özetlenmiştir.

Yousapronpaiboon (2014) Tayland'daki yükseköğretimde hizmet kalitesini araştırmayı amaçlamıştır. Servqual ölçeğini kullanarak bir uygulama yapmıştır. Hastalar ve sağlık hizmeti sağlayıcıları arasındaki etkileşim, hastanın memnuniyetini etkilediği için kritik öneme sahiptir. Bu yüzden, Peprah ve Atarah (2014) çalışmalarında bir bölge hastanesinde Servqual ölçeği ile hastaların memnuniyet seviyelerini ölçmüşlerdir. Aghamolaei ve arkadaşları rekabetçi bir pazarda kalabilmek için bir organizasyonun başarısının müşterilere sağlanan hizmet kalitesi ile orantılı olduğundan bahsetmişlerdir. Servqual ölçeği ile bir hastanede uygulama yapmışlardır (Aghamolaei ve diğ.,2014).

İşletmelerde müşteri memnuniyeti kavramı son yıllarda en stratejik konulardan biri haline gelmiştir. Akbari ve Darabi (2015) çalışmalarında bankacılık hizmetlerini incelemek istemişlerdir. 384 banka müşterisine anket uygulayarak sağlanan hizmet kalitesini ölçmüşlerdir. Roslan ve arkadaşları Malezya'da üçüncü parti lojistik tarafından sağlanan lojistik hizmet kalitesini gözden geçirmeyi amaçlamışlardır (Roslan ve diğ., 2015). Lojistik hizmet sağlayıcılarının en iyi hizmet kalitesini sunma kabiliyeti, daha yüksek müşteri memnuniyeti ve daha iyi hizmet performansı sağlamak ile doğru orantılı olduğunu savunmuşlardır. Kalitenin ürün veya hizmetin performansını ve aynı zamanda müşteri memnuniyetini etkilediğini belirten Stefano ve arkadaşları bir otelde uygulama yaparak sağlanan hizmet kalitesini Servqual ölçeği ile ölçmüşlerdir. Sonuçlara göre çok fazla alanın geliştirilmesi gerektiği yorumunu yapmışlardır (Stefano ve diğ.,2015). Ali ve Raza (2015) çalışmalarında Pakistan İslami bankaların müşterilerine sunulan hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyeti arasındaki ilişkiyi ölçmüşlerdir. Srinavasan ve Saravanan (2015) hastanelerde kaliteli hizmet sunumu ve müşteri memnuniyetinin etkin bir şekilde yürütülmesini tehlikeye sokan faaliyetlere karşı iç gelir üretimini değerlendirmeyi amaçlamışlardır.

Abukhalifeh ve Som (2015) otellerde restoran hizmet kalitesinin müşteri algılarını değerlendirmek için Servqual yöntemini kullanmışlardır. Li ve arkadaşları hastanelerde hizmet kalitesi algısının araştırılması ve iyileştirilmesi için bazı önerilerde bulunmuşlardır(Li ve diğ.,2015). Çin'de bir hastanede tedavi gören hastalar üzerinde anketler yapmışlardır. Saeedpoor ve arkadaşları sigorta sektöründe bir uygulama yapmışlardır (Saeedpoor ve diğ.,2015) . Ceylan ve Özçelik (2016) turizm sektöründe Servqual ölçeğini kullanmışlardır. Yin vd. (2016) tele-sağlık uygulamalarında hastaların sağlık hizmetlerinin

kullanımına yönelik tutum ve algılarını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Bunun için hizmet kalitesi modelini ve önem performans analizini birleştirmişlerdir.

Wagner ve arkadaşları sağlanan hizmetlerin kalite değerlendirmesi, organizasyonların rekabetçi gelişimini amaçlayan stratejilerin oluşturulması için önemli olduğunu vurgulamışlardır (Wagner ve diğ.,2018). Bu bağlamda, bir yükseköğretim kurumunda sağlanan hizmet kalitesini ölçmüşlerdir. Qolipour ve arkadaşları çalışmalarının amacı özel ve devlet hastanelerinde medikal turizmin hizmet kalitesini belirlemektir (Qolipour ve diğ.,2018). Özel ve devlet hastanelerine sevk edilen 250 hasta üzerinde anket yaparak hizmet kalitesini değerlendirmişlerdir. Fan ve arkadaşları (2017) sağlık hizmeti kalitesinin iyileştirilmesi için stratejilerin oluşturulmasında referans veriler sağlamak amacıyla hastalara göre hizmet kalitesi beklentileri ve algıları arasındaki uçurumu belirlemeyi amaçlamışlardır(Fan ve diğ., 2017). Meesalaa ve Paulb (2018) hastanelerde hizmet kalitesine ilişkin en önemli faktörleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada dikkate alınan değişkenler arasında duyarlılık, güvenilirlik, cevap verme, güvence ve empati (Hizmet Kalitesi boyutları), hasta memnuniyeti ve hastaneye sadakattir. Nyandwe ve arkadaşları sağlık hizmetlerinin kalitesini değerlendirmeyi ve hastaların bakım kalitesini nasıl algıladıklarını araştırmışlardır(Nyandwe ve diğ.,2017). Ahmed ve arkadaşları çalışmalarında, Servqual modeli ile müşteri sadakati arasındaki ilişkinin anlaşılmasına katkı sağlamak istemiştir (Ahmed ve diğ., 2017).

Hem özel sektör hem de kamu sektörü bankaları, müşterilerini memnun etmek için hizmet kalitesine daha fazla öncelik vermektedir. Kasliwal ve Singh (2018) bankacılık sektöründe bir uygulama yapmışlardır. Kargari (2018) ANP, Servquel ve DEMATEL tekniklerini birleştirerek etkili bir hibrid model önermiştir. Otellerin farklı amaçlarını ve müşterilerin farklı ihtiyaçlarını farklı aşamalarda karşılayan hizmet kalitesi ile ilgilenmiştir. Midor ve Kučera (2018) Servqual yöntemi ile bir hizmet şirketinde müşteri memnuniyeti ölçmeyi amaçlamışlardır. Sağlanan hizmet düzeyini arttırmak adına iyileştirilmesi gereken alanları belirlemişlerdir. Faizah ve arkadaşları çalışmalarında hizmet kalitesini değerlendirmek için Toplam Kalite Yönetimi (TQM) ve Bulanık Hizmet Kalitesi (SERVQUAL) yaklaşımını bir araya getirmişlerdir(Faizah ve diğ.,2018). Samal ve arkadaşları çalışmalarının amacı hastanelerde mevcut sağlık hizmetlerinin buldukları yerleri değerlendirmek ve medikal turizmi kolaylaştırmak için düzeltici önlemler önermektir (Samal ve diğ.,2018). Purwantini ve Sutanto (2018) Surakarta halkının sel mahallinde bulunanlara tatmin edici bir hizmet sunabilecek bir model önerisinde bulunmuşlardır. Bu çalışmanın amacı, toplumun durumuna uygun ilk sel kontrolü modelini bulmaktır. Kamu idaresi görevlilerinin performanslarını değerlendirirken, gerçek performansın sunulan hizmet kalitesi ile karşılaştırılmasını yapmışlardır. Kuzu 2010 yılında yaptığı doktora çalışmasında Türkiye genelinde 16 ilde görev yapan 38 yaşlı bakımevi için hizmet kalitesini ölçmüştür.

#### **UYGULAMA (APPLICATION)**

Bu çalışmada, Ankara’da aktif olarak hizmet veren 3 yaşlı bakımevinde sunulan hizmet kalitesinin kalan bireylerin isteklerini ve ihtiyaçlarını doğru bir şekilde tespit ederek, verilen hizmetin kalite düzeyinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Yaşlı bakımevlerinde yapılan uygulama ile hizmet kalitesinin ölçümü hedeflenmiştir. SHCEK da görev yapan uzmanların görüşleri ve yüz yüze görüşmeler ile hazırlanan “Hizmet Kalitesi Ölçüm” anketleri 22 sorudan ve üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm demografik bilgileri içermektedir, ikinci bölümde beklenen kaliteyi ölçmeye yönelik sorular, üçüncü bölümde ise algılanan kaliteyi ölçmeye yönelik sorular yer almaktadır.

#### **Demografik bilgiler (Demographic Information)**

Çalışmada kullanılan anketler üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm demografik bilgileri içermektedir. Yaşlı bakımevinde kalan sakinlere cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim durumu, gelir olmak üzere 5 başlık halinde demografik bilgileri sorulmuştur. Yapılan anketler sonucunda 3 yaşlı bakım merkezindeki kalan sakinlerin demografik bilgilerine ait pasta diyagramları Çizelge-2-Çizelge 16’da yer almaktadır.



### A Yaşlı Bakımevinde kalan sakinlerin demografik bilgileri (Demographic Information of Elder Care A)

A yaşlı bakımevinde kalan sakinlerin cinsiyetlerine göre dağılımları Çizelge 2’de yer almaktadır.

#### Çizelge 2. A yaşlı bakımevinde kalan sakinlerin yaş durumu

Table 2. The age situation of residents in elder care A

Yaş	Yüzde
65-74	%35
75-84	%35
85+	%30

#### Çizelge 3. A yaşlı bakımevinde kalan sakinlerin cinsiyet durumu

Table 3. The sexuality situation of residents in elder care A

Cinsiyet	Yüzde
Kadın	%55
Erkek	%45

Çizelge 2 incelendiğinde, A yaşlı bakımevinde kalan sakinlerin %35’inin 65-74, %35’inin 75-84 ve %30’unun 85+ yaşlarda oldukları; Çizelge 3 incelendiğinde, A yaşlı bakımevinde kalan sakinlerin %55’inin kadın %45’inin erkek olduğu tespit edilmiştir.

#### Çizelge 4. A yaşlı bakımevinde kalan sakinlerin medeni durumu

Table 4. the marital status of residents in elder care A

Medeni Durum	Yüzde
Evli	%30
Bekar	%25
Eşini kaybetti	%30
Boşandı	%15

#### Çizelge 5. A yaşlı bakımevinde kalan sakinlerin eğitim durumları

Table 5. The education situation of residents in elder care A

Eğitim Durumu	Yüzde
İlkokul	%10
Ortaokul	%20
Lise	%35
Üniversite	%35

Çizelge 4; incelendiğinde A yaşlı bakımevinde kalan sakinlerin %30’unun evli, %25’inin bekar, %30’unun eşini kaybettiği ve %15’inin boşandığı tespit edilmiştir. Çizelge 5 ele alındığında A yaşlı bakımevinde kalan sakinlerin %10’unun ilkokul, %20’sinin ortaokul, %35’inin lise ve %35’inin üniversite mezunu olduğu belirlenmiştir.

#### Çizelge 6. A yaşlı bakımevinde kalan sakinlerin gelir durumu

Table 6. The income situation of residents in elder care A

Gelir Durumu	Yüzde
1.300 TL altı	%20
1.301-2.000 TL	%15
2.001-2.500 TL	%50
2.501 TL+	%15

A yaşlı bakımevinde kalan sakinlerin %20’sinin 1300 TL altı, %15’inin 1301 TL-2000 TL, %50’sinin 2001-2500 TL ve %15’inin 2500 TL+ gelirlerinin olduğu sonucu Çizelge 6’da görülmektedir.

### B Yaşlı Bakımevinde Kalan Sakinlerin Demografik Bilgileri (Demographic Information Of Elder Care B)

Çizelge 7 incelediğinde B yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin %60'ının kadın, %40'ının erkek olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 8 incelendiğinde B yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin %15'inin 65-74, %55'inin 75-84 ve %30'unun 85+ yaşlarda oldukları Çizelge 9'da sakınlerin %25'inin evli, %20'inin bekar, %45'inin eşini kaybettiği ve %10'unun boşandığı, Çizelge 10'da verilen eğitim durumlarına bakıldığında B yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin %5'inin ilkökul, %10'unun ortaokul, %20'sinin lise ve %65'inin üniversite mezunu olduğu belirlenmiştir. Çizelge 11 incelendiğinde B yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin %25'inin 1301-2000 TL, %20'sinin 2001-2500 TL ve %55'inin 2501 TL+ gelirlerinin olduğu elde edilmiştir.

#### Çizelge 7. B yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin cinsiyet durumu

Table 7. The sexuality situation of residents in elder care B

Cinsiyet	Yüzde
Kadın	%60
Erkek	%40

#### Çizelge 8. B yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin yaş durumu

Table 8. The age situation of residents in elder care B

Yaş	Yüzde
65-74	%15
75-84	%55
85+	%30

#### Çizelge 9. B yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin medeni durum

Table 9. The marital status of residents in elder care B

Medeni Durum	Yüzde
Evli	%25
Bekar	%20
Eşini kaybetti	%45
Boşandı	%10

#### Çizelge 10. B yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin eğitim durumu

Table 10 The education situation of residents in elder care B

Eğitim Durumu	Yüzde
İlkokul	%5
Ortaokul	%10
Lise	%20
Üniversite	%65

#### Çizelge 11. B yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin gelir durumu

Table 11. The income situation of residents in elder care B

Gelir Durumu	Yüzde
1.300 TL altı	-
1.301-2.000 TL	%25
2.001-2.500 TL	%20
2.501 TL+	%55

### C Yaşlı Bakımevinde Kalan Sakinlerin Demografik Bilgileri: (Demographic Information Of Elder Care C)

Çizelge 12 incelendiğinde C yaşlı bakım evinde kalan sakınlerin %65'inin kadın, %35'inin erkek olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 13 incelendiğinde C yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin %30'unun 65-74, %35'inin 75-84 ve %35'inin 85+ yaşlarda oldukları belirlenmiştir. Çizelge 14 incelendiğinde C yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin %25'inin evli, %15'inin bekar, %40'ının eşini kaybettiği ve %20'sinin boşandığı elde edilmiştir. Çizelge 15 incelendiğinde C yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin %15'inin okur-yazar olmadığı, %30'unun ilkokul, %15'inin ortaokul, %25'inin lise, %15'inin üniversite mezunu olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 16 incelendiğinde C yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin %25'inin 1300 TL altı, %30'unun 1301-2000 TL, %30'unun 2001-2500 TL, %15'inin 2501 TL gelirlerinin olduğu görülmektedir.

#### Çizelge 12. C yaşlı bakımevinde kalan sakınlerinin cinsiyet durumu

Table 12. The sexuality situation of residents in elder care C

Cinsiyet	Yüzde
Kadın	%65
Erkek	%35

#### Çizelge 13. C yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin yaş durumu

Table 13. The age situation of residents in elder care C

Yaş	Yüzde
65-74	%30
75-84	%35
85+	%35

#### Çizelge14. C yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin medeni durumu

Table 14. The marital status of residents in elder care C

Medeni Durum	Yüzde
Evli	%25
Bekar	%15
Eşini kaybetti	%40
Boşandı	%20

#### Çizelge 15. C yaşlı bakımevinde kalan sakınlerin eğitim durumu

Table 15. The education situation of residents in elder care C

Eğitim Durumu	Yüzde
Okur-yazar değil	%15
İlkokul	%30
Ortaokul	%15
Lise	%25
Üniversite	%15

### 4.2.Hizmet Kalitesi (Servqual Skoru) Ölçümü (The measurement of Service Quality)

Hizmet işletmelerinin sundukları hizmetin kalitesinin ölçümünde en çok kullanılan yöntem Servqual ölçeğidir. Bu çalışmada sosyal hizmetler çalışan uzmanlarla yapılan görüşmelerle anket hazırlanmıştır. Anketlerin birinci bölümü demografik bilgileri ölçmeye yöneliktir. Ankette ikinci bölüm beklenen hizmet kalitesini ölçmek üzere tasarlanmıştır. Hizmet kalitesi anketleri fiziksel özellikler, güvenilirlik, heveslilik, güven, empati olmak üzere 5 boyutta 22 sorudan oluşmaktadır. Bu sorulardan 1-4 arasındakiler fiziksel özellikler, 5-9 arasındakiler güvenilirlik, 10-13 arasındakiler heveslilik, 14-17 arasındakiler güven ve sonra olarak 18-22 arasındakiler empati olarak dağılmıştır.

İlk olarak bireylerden bakımevlerinden beklentileri hakkında sorular sorulmuştur ve beklenti içerisinde oldukları hizmeti değerlendirmişlerdir. Anketin üçüncü kısmında ise benzer sorular ile bakımevinden algıladıkları hizmeti değerlendirmişlerdir. Her iki bölümde de bakımevi sakinlerinden değerlendirmeleri 1-5 arasında değişen Likert ölçeği kullanmaları istenmiştir (1 Kesinlikle Katılmıyorum, 5 Kesinlikle Katılıyorum olacak şekilde). Yaşlı bakımevlerinin Servqual skorlarını hesaplamak için kalan sakinlerin algıladıkları hizmet skorları ve beklentileri olan hizmetin skorları hesaplanmıştır. Bu işlem 22 sorunun her biri için yapılmış olup anket yapılan sakin sayısına bölünerek ortalama skorlar bulunmuştur. Bulunan ortalama algı skorları ile beklenti skorları arasındaki fark alınarak her bir sorunun Servqual skoru elde edilmiştir. Bu ortalama skorların kendi boyutlarındaki ortalamaları alınmıştır, örneğin; fiziksel özellikler için 1-4 sorularının skorlarının toplamı 4'e oranlanarak hesaplanmıştır. Bulunan boyut skorlarının ortalamaları alınarak yaşlı bakımevinin Servqual skoru hesaplanmıştır. Hesaplanan Servqual değerleri Çizelge 17, Çizelge 18 ve Çizelge 19'da verilmiştir.

### Çizelge 17. A yaşlı bakımevi servqual skorları

Table 17. The servqual score of elder care A

		ALGILAMA	BEKLENTİ	SERVQUAL SKORU		
		ORT.	ORT.	FARK	BOYUT	TOPLAM
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	S1	4,45	4,45	0	0,225	0,0645
	S2	4,40	4,20	0,20		
	S3	4,85	4,25	0,60		
	S4	4,70	4,60	0,10		
GÜVENİLİRLİK	S5	4,35	4,60	-0,25	0,18	
	S6	4,50	4,40	0,10		
	S7	4,65	4,05	0,60		
	S8	4,55	4,35	0,20		
	S9	4,60	4,35	0,25		
HEVESİLİK	S10	4,45	4,90	-0,45	0	
	S11	4,70	4,40	0,30		
	S12	4,60	4,30	0,30		
	S13	4,35	4,50	-0,15		
GÜVEN	S14	4,65	4,20	0,45	0,1875	
	S15	4,60	4,20	0,40		
	S16	4,40	4,40	0		
	S17	4,40	4,50	-0,10		
EMPATİ	S18	4,75	4,15	0,60	-0,27	
	S19	4,25	4,40	-0,15		
	S20	3,35	4,05	-0,70		
	S21	4,65	4,35	0,30		
	S22	3,20	4,60	-1,40		

## Çizelge18. B yaşlı bakımevi servqual skorları

Table 18. The servqual score of elder care B

		ALGILAMA	BEKLENTİ	SERVOUAL SKORU		
		ORT.	ORT.	FARK	BOYUT	TOPLAM
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	S1	4,70	4,20	0,50	0,40	0,153
	S2	4,85	4,35	0,50		
	S3	4,95	4,45	0,50		
	S4	4,70	4,60	0,10		
GÜVENLİLİK	S5	4,70	4,30	0,40	0,21	
	S6	4,55	4,60	-0,05		
	S7	4,75	4,50	0,25		
	S8	4,65	4,40	0,25		
	S9	4,70	4,50	0,20		
HEVESLİLİK	S10	4,55	4,50	0,05	0,0375	
	S11	4,80	4,80	0		
	S12	4,70	4,45	0,25		
	S13	4,45	4,60	-0,15		
GÜVEN	S14	4,95	4,70	0,25	0,1375	
	S15	4,70	4,65	0,05		
	S16	4,65	4,50	0,15		
	S17	4,75	4,65	0,10		
EMPATİ	S18	4,55	4,25	0,30	-0,02	
	S19	4,40	4,40	0		
	S20	4,00	4,15	-0,15		
	S21	4,85	4,45	0,40		
	S22	3,75	4,40	-0,65		

## Çizelge 19. C yaşlı bakımevi servqual skorları

Table 19. The servqual score of elder care C

		ALGILAMA	BEKLENTİ	SERVOUAL SKORU		
		ORT.	ORT.	FARK	BOYUT	TOPLAM
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	S1	4,30	4,45	-0,15	0,2875	0,2495
	S2	4,35	3,95	0,40		
	S3	4,75	3,75	1,00		
	S4	4,35	4,45	-0,10		
GÜVENLİLİK	S5	4,25	4,50	-0,25	0,18	
	S6	4,45	4,45	0		
	S7	4,65	4,00	0,65		
	S8	4,45	4,30	0,15		
	S9	4,60	4,25	0,35		
HEVESLİLİK	S10	4,50	4,45	0,05	0,1875	
	S11	4,40	4,20	0,20		
	S12	4,60	4,15	0,45		
	S13	4,15	4,10	0,05		
GÜVEN	S14	4,55	3,85	0,70	0,3625	
	S15	4,50	3,75	0,75		
	S16	4,55	4,35	0,20		
	S17	4,25	4,45	-0,20		
EMPATİ	S18	4,65	4,05	0,60	0,23	
	S19	4,25	4,15	0,10		
	S20	4,15	3,90	0,25		
	S21	4,50	4,05	0,45		
	S22	4,15	4,40	-0,25		

Yapılan çalışmada yaşlı bakımevlerinde kalan sakinlerin demografik özellikleri olan cinsiyet ve eğitim durumlarına göre hizmet kalitesi (servqual skoru) değerlerinde farklılıklar olup olmadığı karşılaştırmalar sonucu bulunmuştur.

#### A Yaşlı Bakımevinde Yapılan Karşılaştırmalar (Comparisons in an Elderly Home A)

##### Çizelge 20. Cinsiyete göre yapılan karşılaştırmalar

Table 20. The comparisons due to gender

	ALGI ORT.	BEKLENTİ ORT.	FARK
Kadın	4,5495	4,2809	0,2686
Erkek	4,3585	4,4342	-0,0757

##### Çizelge 21. Eğitim durumuna göre karşılaştırmalar

Table 21. The comparisons due to education situation

	ALGI ORT.	BEKLENTİ ORT.	FARK
İlkokul	4,5090	4,5545	-0,0455
Ortaokul	4,5340	4,5068	0,0272
Lise	4,6734	4,4503	0,2231
Üniversite	4,3543	4,7020	-0,3477

Çizelge 20'de görüldüğü üzere yapılan cinsiyet karşılaştırmaları sonucunda A yaşlı bakımevinde kalan kadın sakinlerin aldıkları hizmetten daha memnun oldukları erkek sakinlerin aldıkları hizmetten memnun olmadığı görülmektedir. Erkek sakinlere verilen hizmette iyileştirmeler yapılması gerektiği görülmektedir.

Çizelge 21'de görüldüğü üzere eğitim durumu karşılaştırmalarında ortaokul ve lise mezunları aldıkları hizmetten memnunken ilkokul ve üniversite mezunlarının aldıkları hizmetten memnun olmadığı görülmektedir. İlkokul, üniversite mezunlarına verilen hizmette iyileştirmeler yapılması gerekmektedir.

#### B Yaşlı Bakımevinde Yapılan Karşılaştırmalar (Comparisons in an Elderly Home B)

##### Çizelge 22. Cinsiyete göre yapılan karşılaştırmalar

Table 22. The comparisons due to gender

	ALGI ORT.	BEKLENTİ ORT.	FARK
Kadın	4,8220	4,4204	0,4016
Erkek	4,625	4,5454	0,0796

##### Çizelge 23. Eğitim durumuna göre yapılan

Table 23. The comparisons due to the education situation

	ALGI ORT.	BEKLENTİ ORT.	FARK
İlkokul	4,9545	4,50	0,4545
Ortaokul	4,6818	4,25	0,1818
Lise	4,6590	4,4318	0,2272
Üniversite	4,5544	4,5134	0,041

Çizelge 22.'de görüldüğü üzere yapılan cinsiyet karşılaştırmaları sonucunda B yaşlı bakımevinde kalan hem kadın sakinlerin hem erkek sakinlerin aldıkları hizmetten memnun oldukları görülmektedir.

Çizelge 23'de görüldüğü üzere eğitim durumu karşılaştırmalarında tüm eğitim durumlarındaki sakinlerin aldıkları hizmetten memnun oldukları ama aralarında farklılıklar olduğu görülmektedir.

### C Yaşlı Bakımevinde Yapılan Karşılaştırmalar (Comparisons in an Elderly Home C)

#### Çizelge 24. Cinsiyete göre yapılan karşılaştırmalar

Table 24. The comparisons due to gender

	ALGI ORT.	BEKLENTİ ORT.	FARK
Kadın	4,2993	4,1084	0,1909
Erkek	4,6096	4,2855	0,3241

#### Çizelge 25. Eğitim durumuna göre yapılan karşılaştırmalar

Table 25. The comparisons due to education situation

	ALGI ORT.	BEKLENTİ ORT.	FARK
İlkokul	4,3181	4,3477	-0,029
Ortaokul	3,6772	4,3772	-0,7
Lise	4,6636	4,2818	0,3818
Üniversite	4,8090	4,3477	0,4613

Çizelge 24.'da hem erkeklerin hem de kadınların aldıkları hizmetten memnun oldukları söylenebilir. Çizelge 25'de lise ve üniversite mezunlarının aldıkları hizmetten memnun olduğu ancak ilkokul ve ortaokul mezunu sakinlerin memnun olmadığı söylenebilir. İlkokul ve ortaokul mezunu sakinlerine verilen hizmette iyileştirmeler yapılması gerekmektedir.

Üç yaşlı bakımevi birlikte ele alınarak popülasyon için cinsiyet ve eğitim açısından karşılaştırılmıştır.

#### Çizelge 26. A,B,C yaşlı bakımevleri için cinsiyet açısından karşılaştırma

Table 26. The comparisons due to elder care A, B and C in terms of gender

Cinsiyet	Algı Ort.	Beklenti Ort.	Fark
Kadın	4,5569	4,2699	0,287
Erkek	4,5310	4,4217	0,1093

#### Çizelge 27. A,B,C yaşlı bakımevi için karşılaştırma

Table 26. The comparisons due to education situation elder care A, B and C

Eğitim Durumu	Algı Ort.	Beklenti Ort.	Fark
İlkokul	4,5939	4,4674	0,1265
Ortaokul	4,2977	4,378	-0,0808
Lise	4,6653	4,3880	0,2773
Üniversite	4,5726	4,5210	0,0516

Çizelge 26 incelendiğinde popülasyon için hem kadınların hem erkeklerin aldıkları hizmetten memnun kaldıkları, Çizelge 27 ele alındığında ise sadece ortaokul mezunlarının aldıkları hizmetten memnun olmadıkları görülmüştür.

### SONUÇ (RESULT)

Hizmet sektörü giderek büyüyen bir sektör olarak gelecekte rekabetin daha da artacağı bir eğilim izlemektedir. Rekabet avantajı sağlamak isteyen işletmelerin hizmet kalitesinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapmaları gerekmektedir.

Hizmet kalitesini ölçmekse müşterilerin aldıkları hizmetlerden tatmin olup olmadıklarının öğrenilip, tatminsizlik nedenlerini araştırarak bu nedenler üzerine yoğunlaşmayı gerektirmektedir. Bu nedenlerin iyileştirilmesi ölçülebilir olmaları ile mümkün olabilecektir.

Ülkemizde yaşlı nüfus giderek artmaktadır. Dünya ülkeleri ele alındığında yaşlı nüfusun genel nüfusa oranı sıralamasında 13. olarak yer almaktadır. Alışlagelmiş sistemden farklı olarak son yıllarda

nüfus atışı, göçler nedeniyle çekirdek aile yapısına dönüş, geniş aile sayısının azalması, kadınların çalışma hayatında aktif rol alması, doğurganlığın azalması gibi sebeplerle yaşlı nüfusu artmakta ve yaşlı bakımı zorlaştırmakta hatta yaşlı bakımını sağlayan kurum ve kuruluşlara ihtiyacı arttırmaktadır.

Bu çalışmada Ankara'da faaliyet gösteren devlete ait 3 farklı yaşlı bakımevinde kalan sakinlerin hizmet kalitesi memnuniyetlerinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla SHÇEK'te görev yapan uzman kişilerle yapılan görüşmelerle hazırlanan anket soruları düzenlenerek memnuniyet ölçümü için Servqual yöntemi kullanılmıştır. Anket üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci bölüm demografik bilgileri içermektedir. İkinci bölümde beklenen hizmet kalitesini, üçüncü kısımda ise algılanan hizmet kalitesini değerlendirecek şekilde tasarlanmıştır. Bu kuruluşlarda hizmet kalitesi ölçümü yaparak, bakımevlerinin hangi boyutlar üzerinde kalite iyileştirmeleri yapmaları gerektiği konusunda literatüre katkı sağlanmıştır. Servqual skorlarına bakılarak anket yapılan 3 yaşlı bakımevinde de kalan sakinlerin genel olarak verilen hizmetten memnun oldukları, ancak alt boyutlar incelendiği zaman A ve B yaşlı bakımevinde empati boyutunda iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Ayrıca üç bakımevi sakinlerinin hizmet kalitesi memnuniyet durumları cinsiyet ve eğitim düzeyine göre değerlendirilmiştir. Hizmet kalitesi memnuniyet durumları cinsiyete göre değerlendirildiğinde A bakımevi için kadınların memnun olduğu erkeklerin memnun olmadığı ve B ve C bakımevlerinde hem erkeklerin hem de kadınların hizmetten memnun olduğu görülmektedir. Eğitim düzeyi olarak hizmet kalitesi memnuniyet durumları incelendiğinde; A bakımevinde ortaokul ve lise mezunları hizmetten memnunken ilkokul ve üniversite mezunlarının memnun olmadığı, B bakımevinde her eğitim düzeyindeki sakinlerin memnun olduğu, C bakımevinde ise lise ve üniversite mezunlarının hizmetten memnun olduğu ancak ilkokul ve ortaokul mezunlarının hizmetten memnun olmadıkları tespit edilmiştir. Ayrıca üç huzurevi birlikte değerlendirildiğinde popülasyon için hem kadınların hem erkeklerin aldıkları hizmetten memnun kaldıkları, eğitim açısından ele alındığında ise sadece ortaokul mezunlarının aldıkları hizmetten memnun olmadıkları görülmüştür. Çalışma sonuçları ilgili kurumların yöneticileriyle paylaşılmıştır. Sonuçlardan hareketle memnuniyetsizlik sebepleri araştırılacak ve memnuniyetin artırılmasına yönelik düzeltici faaliyetler hayata geçirilecektir.

#### KAYNAKÇA (REFERENCES)

- Kuzu, A.,2010,Yaşlı Bakım Kurumlarında Hizmet Kalitesi Kavramı ve Kavramsal Hizmet Kalitesi Modeli: Servqual Uygulaması",Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Fakültesi.
- Ardahan, M.,2010, "Yaşlılık ve huzurevi" *Aile ve Toplum*, 5,20.
- Yumuşak, N. U.,2006," *Hizmet Kalitesinin Ölçümü Ve Hizmet Kalitesini Etkileyen Faktörler: Uşak Ticaret Ve Sanayi Odası Uygulaması*"(Doctoral Dissertation, Deü Sosyal Bilimleri Enstitüsü).
- Güzel, D.,Kotan, G., 2013, "Kütüphanelerde Hizmet Kalitesi Ölçümü Atatürk Üniversitesi Merkez Kütüphanesi'nde Bir Uygulama", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(2), 11-24.
- Türk, Z.,2009, "Denetim Firmalarının Sunduğu Hizmet Kalitesi Müşteri Tatmini Ve Sadakati: Servperf Ölçeği", *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(1), 399-416.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V.A., & Berry, L.L.,1988," Servqual: A Multiple Item Scale for Measuring Customer Perceptions of Service Quality", *Journal of Retailing*, 64, 12-40.
- Eleren,A., Bektaş, Ç., Görmüş, A.Ş.,2007,"Hizmet sektöründe hizmet kalitesinin SERVQEL yöntemi ile ölçülmesi ve hazır yemek işletmesinde bir uygulama, *Finans Politik &EkonomikYorumlar*,44(514),75-88.
- Filiz, Z., Kolukısaoğlu, S., 2013, "Servqual Yöntemi Ve Bir Hizmet İşletmesinde Uygulama", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi EYİ 2013 Özel Sayısı*.
- Bulgan, U.,2002, Kütüphanecilik sektöründe hizmet kalitesinin ölçümü ve bir üniversite kütüphanesi uygulaması. Yüksek lisans tezi, Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye.
- Yousapronpaiboon, K.,2014, "Servqual: Measuring Higher Education Service Quality in Thailand", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 116, 1088-1095.



- Peprah, A. A., Atarah, B. A., 2014, "Assessing Patient's Satisfaction Using Servqual Model: A Case of Sunyani Regional Hospital, Ghana", *International Journal of Business and Social Research*, 4(2), 133-143.
- Aghamolaei, T., Eftekhaari, T. E., Rafati, S., Kahnouji, K., Ahangari, S., Shahrzad, M. E., Hoseini, S. H., 2014, "Service Quality Assessment of a Referral Hospital in Southern Iran With Servqual Technique: Patients' Perspective", *BMC Health Services Research*, 14(1), 322.
- Akbari, P., Darabi, A., 2015, "Factors Affecting Customer Satisfaction, Quality Banking Services to Iran, Using the Servqual Model Case Study: Resalat Bank of Kermanshah Province", *Advanced Social Humanities and Management* 1(4) 2015:1-5.
- Roslan, N. A. A., Wahab, E., Abdullah, N. H., 2015, "Service Quality: A Case Study of Logistics Sector in Iskandar Malaysia Using Servqual Model", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 172, 457-462.
- Stefano, N. M., Casarotto Filho, N., Barichello, R., & Sohn, A. P., 2015, "A Fuzzy Servqual Based Method for Evaluated of Service Quality in The Hotel Industry", *Procedia CIRP*, 30, 433-438.
- Ali, M., Raza, S. A., 2017, "Service Quality Perception and Customer Satisfaction in Islamic Banks of Pakistan: The Modified Servqual Model", *Total Quality Management & Business Excellence*, 28(5-6), 559-577.
- Srinivasan, K., Saravanan, S., 2015, "Delivery of Public Health Care Services: Assessing Customer Satisfaction Using Servqual Approach", *Ijaiem*, 4(7), 6-14.
- Abukhalifeh, A. N., Som, A. P. M., 2015, "Servqual: A Multiple-Item Scale for Measuring Customer Perceptions of Restaurants' Service Quality", *Advances in Environmental Biology*, 9(3), 160-162.
- Li, M., Lowrie, D. B., Huang, C. Y., Lu, X. C., Zhu, Y. C., Wu, X. H., ... & Zhao, P., 2015, "Evaluating Patients' Perception of Service Quality at Hospitals in Nine Chinese Cities by Use of The Servqual Scale", *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(6), 497-504.
- Saeedpoor, M., Vafadarnikjoo, A., Mobin, M., Rastegari, A., 2015, "A Servqual Model Approach Integrated with Fuzzy AHP And Fuzzy TOPSIS Methodologies to Rank Life Insurance Firms", In *Proceedings of The International Annual Conference of The American Society for Engineering Management*. (P. 1). American Society for Engineering Management (Asem).
- Ceylan, C., Ozcelik, A. B., 2016, "A Circular Approach to Servqual And Holsat: An Implementation Suggestion" *Journal of Hotel Business Management*, 5(1).
- Yin, S. Y., Huang, K. K., Shieh, J. I., Liu, Y. H., Wu, H. H., 2016, "Telehealth Services Evaluation: A Combination of Servqual Model and Importance-Performance Analysis", *Quality & Quantity*, 50(2), 751-766.
- Wagner, A., Merino, E. A. D., Martinelli, M., Polacinski, É., Da Silva Wegner, R., Godoy, L. P., 2018, "The Quality of Services in A Higher Education Institution: An Evaluation for The Integration of AHP, Servqual and QFD Methods" *Disciplinarum Scientia | Sociais Aplicadas*, 13(1), 109-130.
- Qolipour, M., Torabipour, A., Khiavi, F. F., & Malehi, A. S., 2018, "Assessing Medical Tourism Services Quality Using Servqual Model: A Patient's Perspective", *Iranian Journal of Public Health*, 47(1), 103.
- Fan, L. H., Gao, L., Liu, X., Zhao, S. H., Mu, H. T., Li, Z., Shi, L., Wang, L., Jia, X., Ha, M., Lou, F. G., 2017, "Patients' Perceptions of Service Quality in China: An Investigation Using the Servqual Model", *Plos One*, 12(12), E0190123.
- Meesala, A., Paul, J., 2018, "Service Quality, Consumer Satisfaction and Loyalty in Hospitals: Thinking for The Future", *Journal of Retailing and Consumer Services*, 40, 261-269.
- Nyandwe, J., Mapatano, M., Lussamba, P., Kandala, N. B., & Kayembe, P., 2017, Measuring Patients' Perception on The Quality of Care in The Democratic Republic of Congo Using A Modified, Service Quality Scale (Servqual)", *Archives of Science*, 1(2), 1000108.
- Ahmed, A., Khuwaja, F. M., Othman, I. B. L., Qureshi, M. A., & Ali, R. A., 2017, "Validation of Servqual Model in Relation to Customer Loyalty: Evidence from FMCGS In Pakistan", *Sukkur IBA Journal of Management and Business*, 4(2), 54-76.

- Kasliwal, N., Singh, J., 2018, "Service Quality Perception Towards E-CRM Practices Among Customers of Private and Public-Sector Banks of Rajasthan Using Servqual Method", *International Journal of Emerging Research in Management and Technology (Ijermt)*, 7(3), 22-29.
- Kargari, M., 2018, "Ranking of Performance Assessment Measures at Tehran Hotel by Combining Dematel, Anp, And Servqual Models Under Fuzzy Condition", *Mathematical Problems in Engineering*, 1-15.
- Midor, K., Kučera, M., 2018, "Improving the Service with The Servqual Method", *Management Systems in Production Engineering*, 26(1), 60-65.
- Faizah, A., Syafei, W. A., Isnanto, R. R., 2018, "Total Quality Management of Information System for Quality Assessment of Pesantren Using Fuzzy-Servqual", In *E3s Web of Conferences* (Vol. 31, P. 10011). EDP Sciences. 1-6.
- Samal, A., Pradhan, B. B., Mishra, M. R., & Jena, J., 2018, "Prospect of Medical Tourism in The State of Odisha: An Analytical Report from The Selected Private Tertiary Care Hospitals", *Indian Journal of Public Health*, 9(5), 231-237.
- Purwantini, V. T., & Sutanto, Y., 2018, "The Model of Flood Control Using Servqual Method and Importance Performance Analysis in Surakarta City-Indonesia", In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1025, No. 1, P. 012123). IOP Publishing.

## KİTOSAN/ter(GMA-MA-NTBA) POLİMER İLE MİKROKAPSÜL HAZIRLAMA VE KARAKTERİZASYONU

İdris SARGIN

*Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyokimya Bölümü, Kampüs-Konya, TÜRKİYE*  
[idris.sargin@selcuk.edu.tr](mailto:idris.sargin@selcuk.edu.tr)

(Geliş/Received: 24.12.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 05.02.2019)

**ÖZ:** Bu çalışmada, glisidil metakrilat (GMA), maleik anhidrit (MA), N-ter-butylakrilamid (NTBA) monomerlerinden ter(GMA-MA-NTBA) polimer ilk kez sentezlenmiştir. Polimerin kimyasal yapısı FT-IR spektroskopisi, Nükleer Manyetik Rezonans (<sup>1</sup>H-NMR) spektroskopisi, asit sayısı ve viskozite ölçümleri ile yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile çalışılmıştır. Sentezlenen ter(GMA-MA-NTBA) polimerin farklı oranlarını içeren kitosan tabanlı mikrokapsüller hazırlanmış ve yapısal kararlılığı optimize edilmiştir. Polimer-kitosan mikrokapsüller glutaraldehit çapraz bağlayıcı ile daha dayanıklı hale getirilmiştir. Mikrokapsüllerin kimyasal yapıları FT-IR spektroskopisi ile yüzey morfolojileri SEM ile belirlenmiştir. Kitosan/ter(GMA-MA-NTBA) polimer kompozit mikrokapsüller farklı adsorpsiyon, ilaç taşıma ya da kontrollü salınım uygulamalarında denenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Kitosan mikrokapsül, ter-Polimer, SEM

### Preparation and Characterization of Chitosan/ter(GMA-MA-NTBA) Polymer Microcapsules

**ABSTRACT:** In this study, ter(GMA-MA-NTBA) polymer was synthesized from glycidyl methacrylate(GA); maleic anhydride (MA) and N-tert-butylacrylamide (NTBA) monomers for the first time. Chemical structure of the polymer was studied using FT-IR spectroscopy, Nuclear Magnetic Resonance (<sup>1</sup>H-NMR) spectroscopy, acidic group number and viscosity measurements and its surface morphology using scanning electron microscopy (SEM). Chitosan-based microcapsules containing different ratios of the synthesized ter(GMA-MA-NTBA) polymer were prepared and their structural stability was optimized. The microcapsules were cross-linked with glutaraldehyde to make them mechanically stronger. Chemical structure of the microcapsules was determined using FT-IR spectroscopy and their surface their surface morphology using SEM. Chitosan/ter(GMA-MA-NTBA) polymer composite microcapsules can be tested in adsorption, drug delivery and controlled release applications.

**Key Words:** Chitosan microcapsule, ter-Polymer, SEM

### GİRİŞ (INTRODUCTION)

Polimerik malzeme içeren kitosan tabanlı mikrokapsül hazırlamada, genelde üç metot kullanılmıştır. İlki; polimerin doğrudan kitosanla beraber harmanlanıp karıştırılmasıyla oluşan hidrojel çözeltinin jelleştirilmesiyle elde edilen mikrokapsüllerdir. Mikrokapsül üretimi kitosanın alkali ortamda tekrar jelleştirilmesine dayanır ve kitosan-polimer ya da kitosan-kitosan arasında kovalent bir bağlanma gerçekleşmez, iki polimerden oluşan bir karışım elde edilir (Won ve diğ., 2009; Tran ve diğ., 2013). İkincisi; sentetik monomerin kitosan çözeltisi içerisinde polimerleştirilmesiyle elde edilir. Bu tip mikrokapsül üretiminde polimer monomerinden, kitosan çözeltisi içerisinde *in situ* olarak sentezlenir ve oluşan hidrojel karışım semi-IPN (Semi-interpenetrating polymer network) olarak isimlendirilir. Polimer alaşımlar olarak nitelendirilebilecek bu polimerlerle; kontrollü salınım için mikroküreler (Rokhade ve

diğ., 2007), sulu çözeltilerden metal (Akkaya ve Ulusoy, 2008; Wang ve diğ., 2013) ve boya (Zhao ve diğ., 2012) sorpsiyonu için adsorbanlar, biyoyumlu jel matrisler (Zhou ve Wu, 2011) ve pH duyarlı semi-IPN mikroküreler (Babu ve diğ., 2008) hazırlanmıştır. Son olarak, sentetik monomerin polimerleşmesini takiben kitosan zincirlerinin çapraz bağlayıcıyla bağlanmasıyla elde edilen full-IPN'lerdir (Full-interpenetrating polymer network). Bu polimerlerle; pH ve sıcaklık duyarlı aşı polimerler (Don ve Chen, 2005), sensörler (Kestwal ve diğ., 2011), boyar maddelerin uzaklaştırılması için sorbentler (Dragan ve diğ., 2012a; 2012b), membranlar (Chen ve diğ., 2007), hidrojel (Yin ve diğ., 2007) ve kontrollü ilaç salınımı için jel matrisler (Agnihotri ve Aminabhavi, 2006) üretilmiştir. İfade edilen kullanım alanlarında ve çalışmalarda, kitosan; membran (Bayramoglu ve diğ., 2007), film (Sharmin ve diğ., 2012; Dotto ve diğ., 2013), fiber (Pillai ve diğ., 2009), nanopartikül (Liu ve diğ., 2012; Wei ve diğ., 2012) hidrojel (Pal ve diğ., 2013), reçine (Atia, 2005; Abou El-Reash ve diğ., 2011), nano/mikroküreler (Chen ve diğ., 2008) veya kapsüller (Kumar ve diğ., 2004; Ma ve diğ., 2009) halinde kullanılmıştır.

Kitosan tek başına zayıf bir bazdır ( $pK_a \sim 6.2$ ) ve  $pH < 6.0$ 'nın altında asidik ortamlarda çözünür. Fakat kitosanın çapraz bağlamayla modifiye edilmesi bu sınırlılığı ortadan kaldırır (Guibal ve diğ., 1995; Piron ve diğ., 1997; Anirudhan ve Rijith, 2009). Literatürde ham kitosanın organik türe karşı seçici hale getirmek için de çeşitli modifikasyon yöntemleriyle farklı kitosan türevleri sentezlenmiştir (Xu ve diğ., 2013). Kitosanın deasetilasyon derecesi, molekül ağırlığı ve kristal yapısı gibi fizikokimyasal özellikleri, izole edildiği kaynağa ve izolasyon yöntemine son derece bağlıdır. Bunun yanında kitosanın sentetik polimerle beraber kullanılmasında sentetik polimerin de kimyasal ve fiziksel yapısının hesaba katılması bir zorunluluktur. Bütün parametrelerinin aynı reaksiyon ortamında optimize edilmesi zordur.

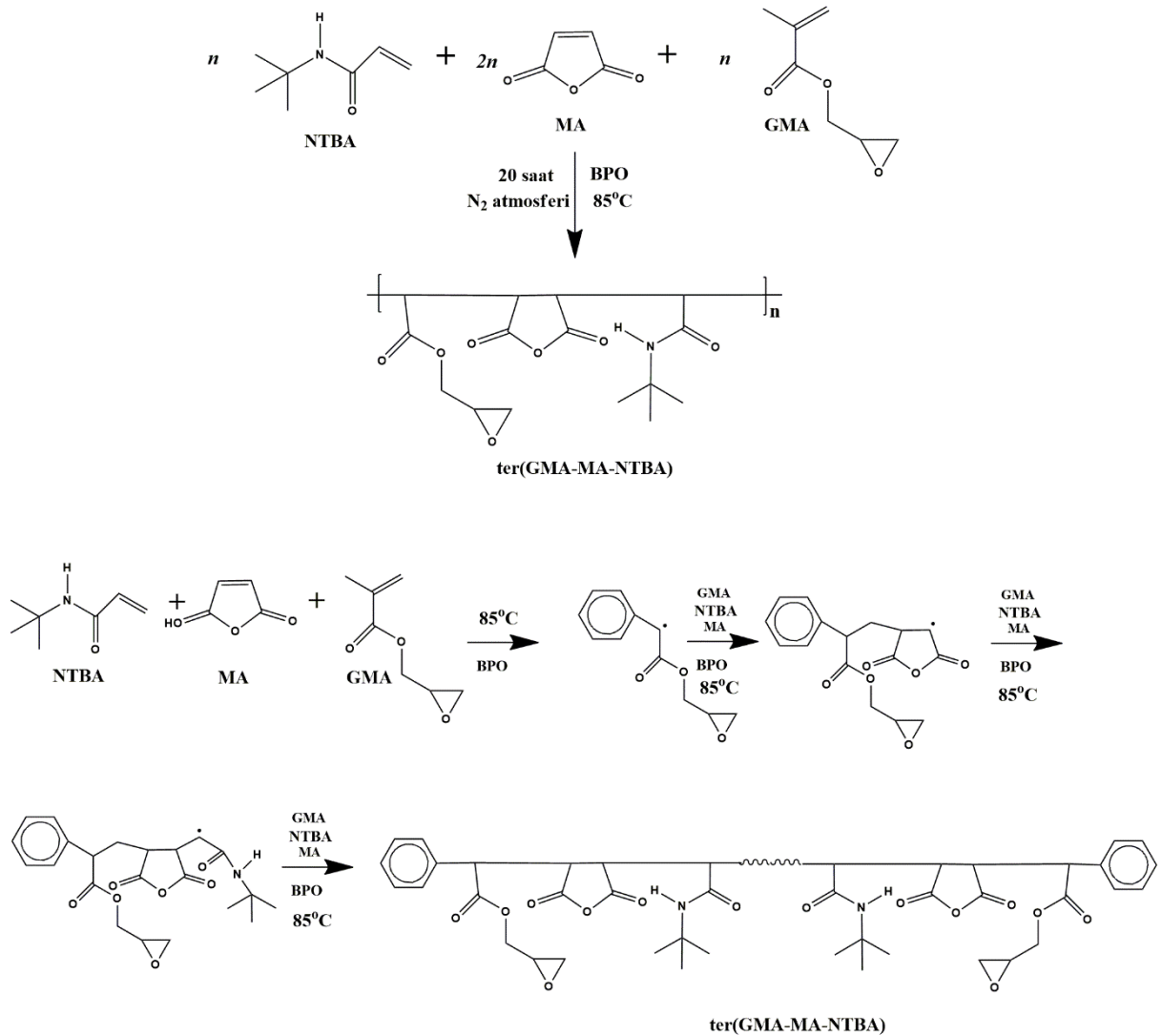
Bu çalışmada, farklı organik moleküller için taşıyıcı ya da adsorban olarak kullanılacak kitosan tabanlı bir kompozit mikrokapsül üretimi amaçlanmıştır. Çalışmada ter(GMA-MA-NTBA) polimeri hazırlanıp kitosanla beraber mikrokapsül hazırlamada kullanılmıştır. Hazırlanan ter-polimerle kitosanın farklı oranlarda karıştırıldıktan sonra kitosanın çapraz bağlanmasıyla kompozit kitosan/ter(GMA-MA-NTBA) polimer mikrokapsüller ilk kez üretildi. Kitosan çözeltilisine katılan ter(GMA-MA-NTBA) polimeri sentezlenip kitosan çözeltilisine katılmıştır. Bu anlamda yukarıda ifade edilen mikrokapsül hazırlama yöntemlerinden birinci yönteme benzemektedir. Diğer yandan ter(GMA-MA-NTBA) polimerin taneciklerinin kitosan çözeltilisine ilave edilmesinden kitosanın çapraz bağlanmasıyla semi-IPN'lere kısmen bir benzerlik söz konusudur. Sentezlenen ter(GMA-MA-NTBA) polimerin kimyasal yapısı FT-IR spektroskopisi, Nükleer Manyetik Rezonans ( $^1H-NMR$ ) spektroskopisi ile analiz edilmiş ve polimerin asit sayısı, viskozitesi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile de yüzey morfolojisi incelenmiştir. Kitosan/ter(GMA-MA-NTBA) polimer mikrokapsüllerin kimyasal yapısı FT-IR spektroskopisi ile yüzey morfolojileri SEM ile incelenmiştir.

#### **ter-POLİMERİN SENTEZLENMESİ VE KARAKTERİZASYONU (SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF TER-POLYMER)**

ter(GMA-MA-NTBA) (1:2:1), *N*-ter-butylakrilamid (NTBA), maleik anhidrit (MA) ve glisidil metakrilat (GMA) monomerlerinden inert atmosfer ortamında radikalik polimerizasyon yöntemiyle sentezlenmiştir (Şekil 1) (Nie ve diğ., 2004; Wu ve diğ., 2006; Klumperman, 2010; Rzaev, 1999; Kaplan ve Rzaev, 2012; Dinçer ve diğ., 2002). 0.01 mol NTBA (1.27 g), 0.02 mol MA (1.96 g) ve 0.01 mol GMA (1.42 g) 1,4-dioksan (40 mL) içine ilave edildikten sonra üç boyunlu balon içerisinde 30 dakika azot gazı geçirildi. Benzoil peroksit (BPO) ( $4 \times 10^{-4}$  mol) ilavesinden sonra karışım  $85^\circ C$ 'de 20 saat süreyle ısıtıldı (Şekil 1). Sonrasında, karışım çözücünün fazlasını ortamdan uzaklaştırmak için evaporatöre alındı. Ortamda kalan reaktif ve monomerleri uzaklaştırmak için karışım dietil eter içerisine damla damla ilave edildi, çöken polimer ortamdan alınıp tekrar 1,4-dioksan içerisinde çözüldü ve çözelti tekrar dietil eter içerisinde tekrar çöktürüldü. Üçüncü tekrardan sonra saflaştırılan polimer çöktürülmesi ortamdan alınıp, çözücü uzaklaştırıldıktan sonra kullanıldı.

Sentezlenen ter(GMA-MA-NTBA) polimer; Infrared Spektroskopi (FT-IR) (Bruker Vertex 70 FTIR spektrometre;  $4000-500 \text{ cm}^{-1}$ ), Nükleer Manyetik Rezonans ( $^1H-NMR$ ) (Varian 400 MR), Taramalı

Elektron Mikroskobu (SEM) (EVO LS 10 ZEISS), asit sayısı titrimetrik yöntemle, Viskozimetre (Ubbelohde Viskozimetresi) ile karakterize edilmiştir.

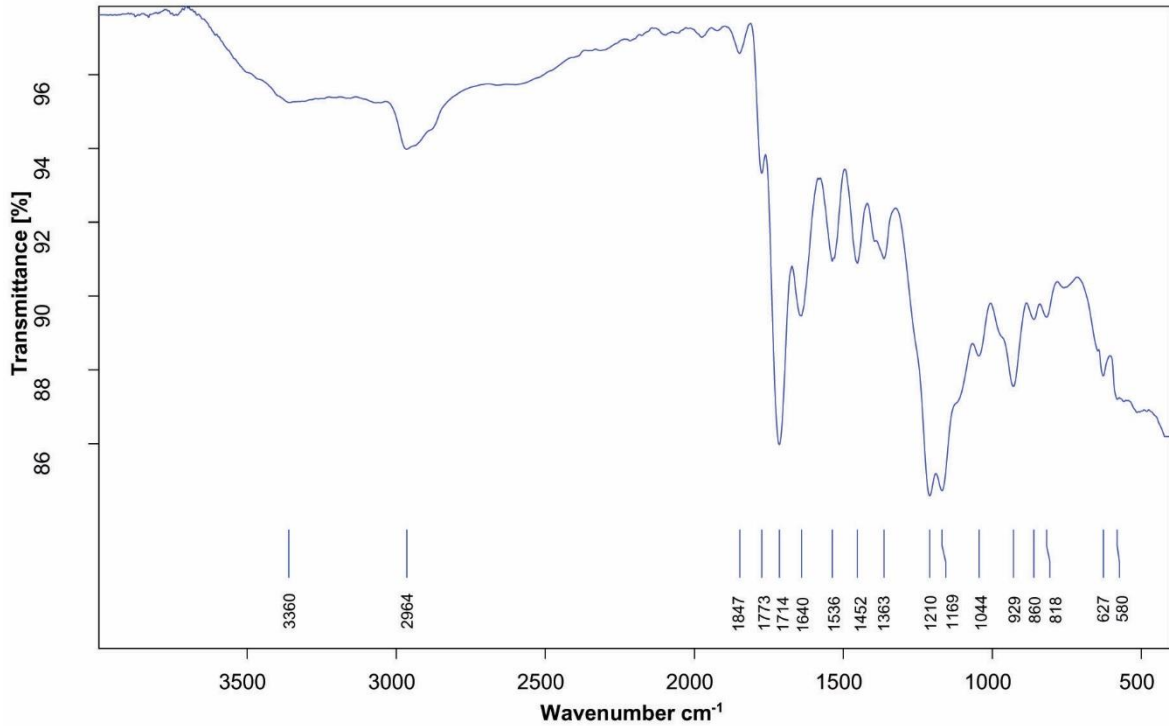


Şekil 1. ter(GMA-MA-NTBA) polimerinin muhtemel oluşum mekanizması

Figure 1. A possible mechanism for synthesis of tert-(GMA-MA-NTBA) polymer

### ter(GMA-MA-NTBA)'ın FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of ter(GMA-MA-NTBA))

Sentezlenen ter(GMA-MA-NTBA) polimeri; Infrared Spektroskopi (FT-IR) ile analiz edilmiş ve FT-IR spektrumu Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** ter(GMA-MA-NTBA) polimerine ait FT-IR spektrumu

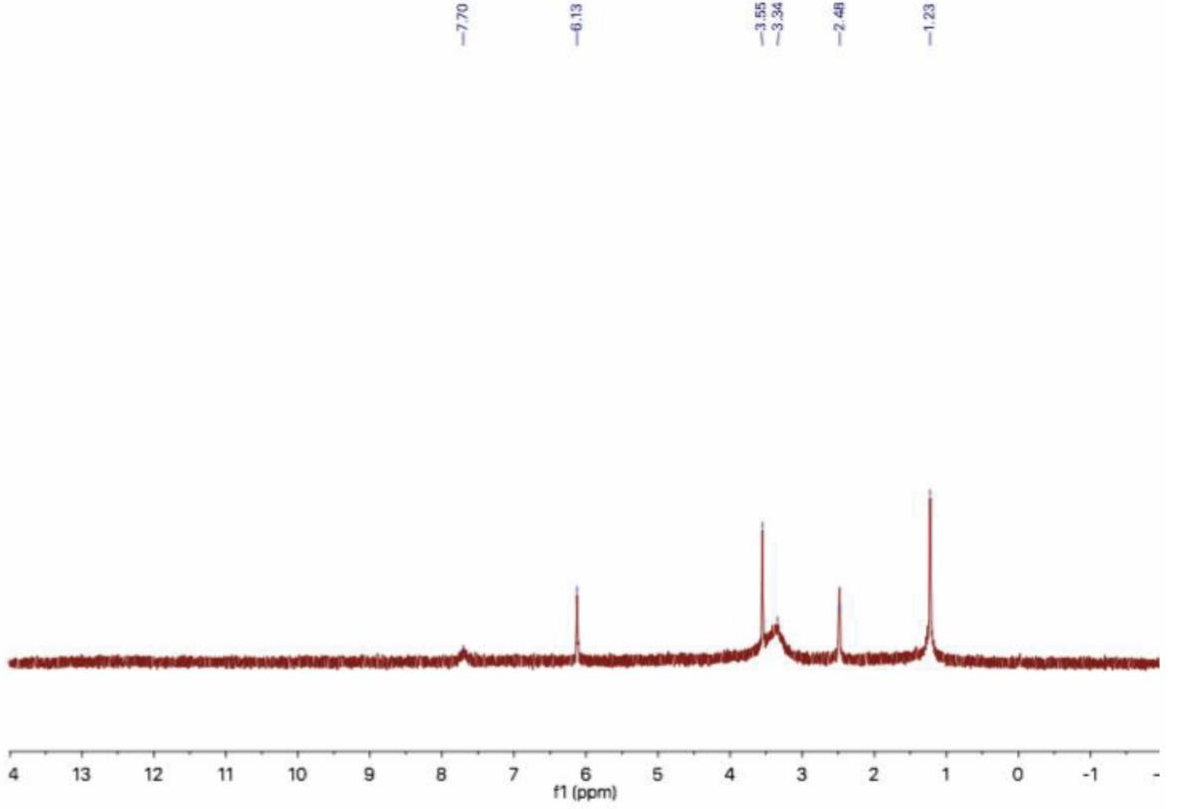
*Figure 2. FT-IR spectrum of ter(GMA-MA-NTBA) polymer*

FT-IR spektrumunda maleik anhidrite ait olan  $1169\text{ cm}^{-1}$ 'de  $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$  gerilmesi pikleri görülmektedir (Şengöz, 2014). Maleik anhidritte olan  $1847\text{--}1773\text{ cm}^{-1}$ 'de siklo yapıdaki karbonil grubunun asimetri ve simetrik gerilmeleri, polimerdeki maleik anhidrit grubundan modifikasyon olduğu düşünülmektedir.

*N*-ter-bütül akrilamid'e ait olan pikler;  $3360\text{ cm}^{-1}$ 'de (sekonder amit,  $-\text{NH}$ ),  $2964\text{ cm}^{-1}$ 'de ( $\text{CH}_2$  ve  $\text{CH}_3$  gruplarının C-H gerilmesi),  $1640\text{ cm}^{-1}$ 'de (amit karbonili gerilmesi,  $-\text{HN}-\text{C}=\text{O}$ ),  $1536\text{ cm}^{-1}$ 'de (amit II,  $-\text{N}-\text{H}$ ) görülmektedir (Şengöz, 2014; Karasakal A., 2015).

#### ter(GMA-MA-NTBA)'ın $^1\text{H-NMR}$ spektrumu ( $^1\text{H-NMR}$ spectrum of ter(GMA-MA-NTBA))

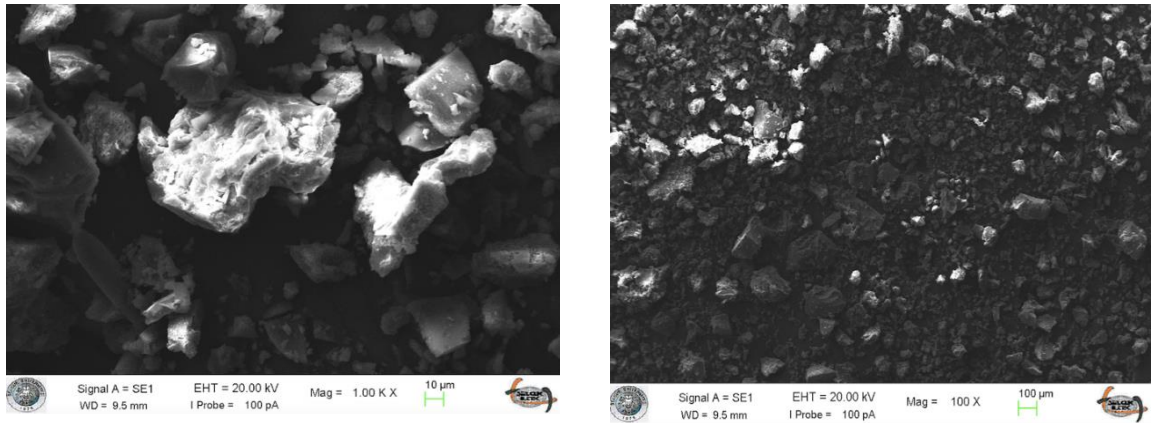
Sentezlenen ter(GMA-MA-NTBA) polimeri; Nükleer Magnetik Rezonans ( $^1\text{H-NMR}$ ) spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Şekil 3'teki NTBA-MA-GMA ter-polimerinin  $\text{CDCl}_3$  çözeltisindeki  $^1\text{H}$  NMR spektrumundaki;  $1,23\text{ ppm}$ 'de *N*-ter-butylakrilamid'den gelen ter-butül grubu [ $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ ] ve glisidil metakrilat'dan gelen metil ( $-\text{CH}_3$ ) grubu protonlarına;  $2,48\text{ ppm}$ 'de *N*-ter-butylakrilamid'den gelen vinil köküne ait metin grubu ( $-\text{CH}$ ) protonlarına ve glisidil metakrilat'dan gelen epoksi grubuna bağlı metilen ( $-\text{CH}_2$ ) grubu protonlarına;  $3,34\text{--}3,55\text{ ppm}$  arasında maleik anhidrit'ten gelen metin grubu ( $-\text{CH}$ ) protonlarına, GMA'nın glisidil kökünden gelen metilen ( $-\text{CH}_2$ ) grubu protonlarına ve glisidil metakrilat'ın glisidil kökünden gelen metin ( $-\text{CH}$ ) grubu protonlarına;  $6,13\text{ ppm}$ 'de GMA'daki epoksi grubunun hidrolizinden kaynaklanabilecek hidroksil ( $-\text{OH}$ ) grubu protonlarına;  $7,70\text{ ppm}$ 'deki pik *N*-ter-butylakrilamid'den gelen amin ( $-\text{NH}$ ) grubu protonlarına aittir (Şengöz, 2014; Karasakal A., 2015).



Şekil 3. ter(GMA-MA-NTBA) polimerine ait  $^1\text{H-NMR}$  spektrumu  
 Figure 3.  $^1\text{H-NMR}$  spectrum of ter(GMA-MA-NTBA)

#### ter(GMA-MA-NTBA)'ın SEM görüntüsü (SEM image of ter(GMA-MA-NTBA))

Sentezlenen ter(GMA-MA-NTBA) polimeri; Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiş ve SEM görüntüsü Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. ter(GMA-MA-NTBA) polimerine ait farklı boyutlardaki SEM görüntüsü  
 Figure 4. SEM images of ter(GMA-MA-NTBA) polymer at different magnifications

### ter(GMA-MA-NTBA)'ın asit sayısı ve viskozimetre (Acid number and viscosimetry of ter(GMA-MA-NTBA))

ter(GMA-MA-NTBA) polimeri içerisindeki anhidrit grupları birbirleriyle etkileşimiyle karboksil asit oluşturmaktadır. Karboksilik asit; sodyum hidroksit ile titrasyonu ile asit miktarı hesaplanabilmektedir (Şengöz, 2014; Karasakal A., 2015).

Ubbelohde Viskozimetresi kullanılarak ter(GMA-MA-NTBA) polimer çözeltisinin, viskozimetrenin kapiler borusunda işaretlenmiş iki çizgi arasında serbest bırakılarak akış süresi saniye olarak ölçülür. Viskozite suya karşı ölçülürse, bağlı viskozite bulunur. Polimer çözeltileri, yüksek mol kütleleri nedeniyle yüksek viskozite gösterirler. Ölçümlerde moleküller arası etkileşimleri azaltmak ve doğru ölçüm almak için düşük derişimlerde polimer çözeltileri ile çalışılır (Şengöz, 2014; Karasakal A., 2015).

ter(GMA-MA-NTBA) polimeri için asitlik sayısı 587 mg ve limit viskozite  $[\eta]$  0.0272 dL/g olarak hesaplanmıştır. Asitlik sayısı polimer çözeltisinin NaOH çözeltisiyle titre edildi ve Eşitlik 1 kullanılarak belirlendi (Şengöz, 2014).

$$\% COOH = \frac{(V_1 - V_2) \cdot f \cdot X \cdot 100}{m} \quad (1)$$

$V_1$ : Polimer olan numunedeki harcanan NaOH hacmi

$V_2$ : Polimer olmayan numunedeki harcanan NaOH hacmi

f: 0.1 N NaOH çözeltisinin faktörü

x: 1 mL 0.1 N olan NaOH çözeltisine eşdeğer olan karboksil miktarı (0,0045)

m: Polimer örneğinin g olarak kütlesi

Bağlı viskozitelerinin belirlenmesi ter(GMA-MA-NTBA) çözeltilerinin ve saf çözücünün aynı Ubbelohde viskozimetresinde aynı koşullarda akış süreleri ölçüldü ve dört tekrar yapıldı. Eşitlik 2 kullanılarak bağlı viskozite ( $\eta_r$ ) değeri hesaplandı ve  $\eta_r$ 'den spesifik viskozite ( $\eta_{sp}$ ) (Şengöz, 2014).

$$\eta_r = n/n_0 = t / t_0 \quad (2)$$

$$\eta_{sp} = \eta_r - 1 \quad (3)$$

$\eta_{sp} / C$  oranının derişime karşı olan (C) değerlerinin grafiği çizilip, Eşitlik 4'ü kullanarak doğrunun dikey eksenini kestigi noktadan limit viskozite sayısı ( $[\eta] = [\eta_{sp} / C]_{C \rightarrow 0}$ ) hesaplandı (Şengöz, 2014).

$$\eta_{sp} / C = [\eta] + k'[\eta]^2 C \quad (4)$$

### Mikrokapsüllerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu (Preparation and Characterization of Microcapsules)

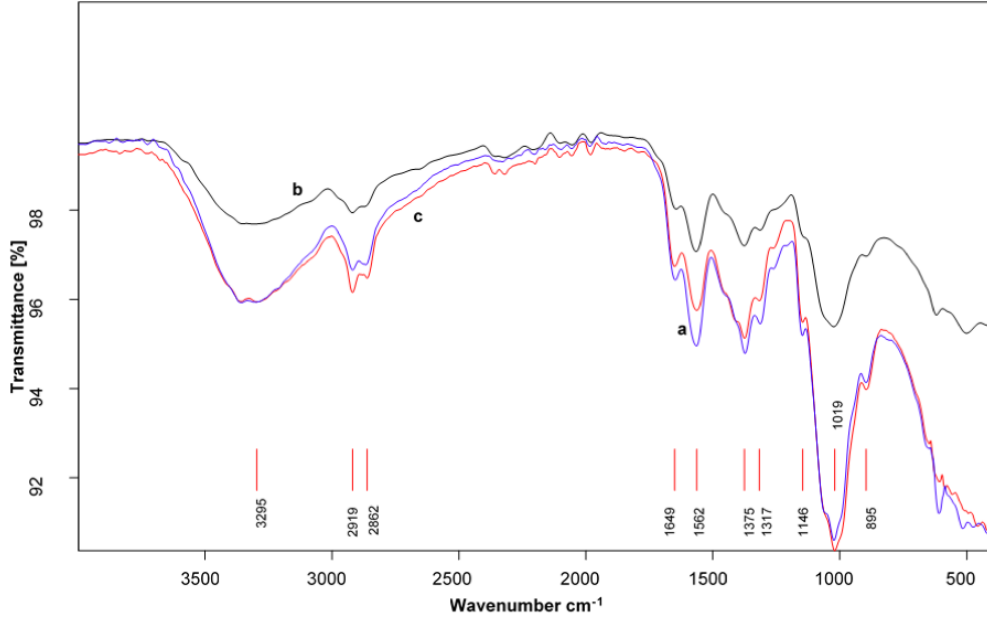
Kapsülleme ajanı olan kitosan (3 g) 150 mL %2'lik asetik asit çözeltisine ilave edilerek 1 gün boyunca karıştırılarak çözüldü. ter(GMA-MA-NTBA) polimeri agat havanda öğütüldükten sonra kitosan çözeltisine çözelti içerisindeki oranı (ağırlıkça) %0.25 ve %0.50 olacak şekilde ilave edildi ve karışımlar 3 saat karıştırılarak taneciklerin çözelti içerisinde dağılması sağlandı. Büret içerisinde alınan karışım damlalar halinde koagülasyon çözeltisine (25°C) (1 litre için; 600 mL metanol, 400 mL su ve 120 g NaOH) ilave edildi ve hidrojel halindeki küresel küreler koagülasyon çözeltisi içerisinde manyetik karıştırıcı ile 150 rpm'de karıştırıldı (Sargın ve Arslan, 2015; Sargın ve diğ., 2015; Pal ve diğ., 2013; Abou El-Reash ve diğ., 2011; Agnihotri ve Aminabhavi, 2006; Chen ve diğ., 2007; Ma ve diğ., 2009; Rokhade ve diğ., 2007). Mikrokapsüller koagülasyon çözeltisinde içinde 1 gün bekletildikten sonra; nüçe hunisinden süzülerek pH'sı nötral oluncaya kadar yıkandı. Yıkanan mikrokapsüller ıslak halde çapraz bağlama işlemine alındı. Çapraz bağlama işlemi için kitosanın amin gruplarıyla Schiff bazı oluşturan gluteraldehit kullanıldı. 90 mL metanol ve 0.9 mL gluteraldehit çözeltisi içerisinde mikrokapsüller 6 saat boyunca 70°C'da geri soğutucu altında karıştırıldı (150 rpm'de). 6 saat çapraz bağlanmaya bırakılan mikrokapsüller soğumaya bırakıldı, süzülerek saf suyla yıkandı. Süzülen mikrokapsüller oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı (Sargın ve diğ., 2015). Mikrokapsüllerin karakterizasyonunda, FT-IR ve



SEM analiz yöntemleri kullanılmıştır. FT-IR ile kompozitin fazlarını ve kompozitin fonksiyonel gruplarını görüntülemekte kullanılmıştır. SEM görüntüleri ile mikrokapsül içine dağılan polimerin varlığı ve dağılımı görüntülenmiş ve kapsüllerin boyutu belirlenmiştir.

### Kitosan/ter(GMA-MA-NTBA) mikrokapsülün FT-IR spektrumu (FT-IR spectrum of chitosan/ter(GMA-MA-NTBA))

Hazırlanan Kitosan/ter(GMA-MA-NTBA) mikrokapsülün; Kızılötesi Spektroskopi (FT-IR) ile analiz edilmiş ve FT-IR spektrumu Şekil 5'te verilmiştir.



**Şekil 5.** FT-IR spektrumu: a) kitosan; b) %0.25 ter(GMA-MA-NTBA) içerikli kitosan; c) %0.50 ter(GMA-MA-NTBA) içerikli kitosan

*Figure 5.* FT-IR spectra: a) chitosan; b) chitosan with 0.25% ter(GMA-MA-NTBA) content; c) chitosan with 0.50% ter(GMA-MA-NTBA) content

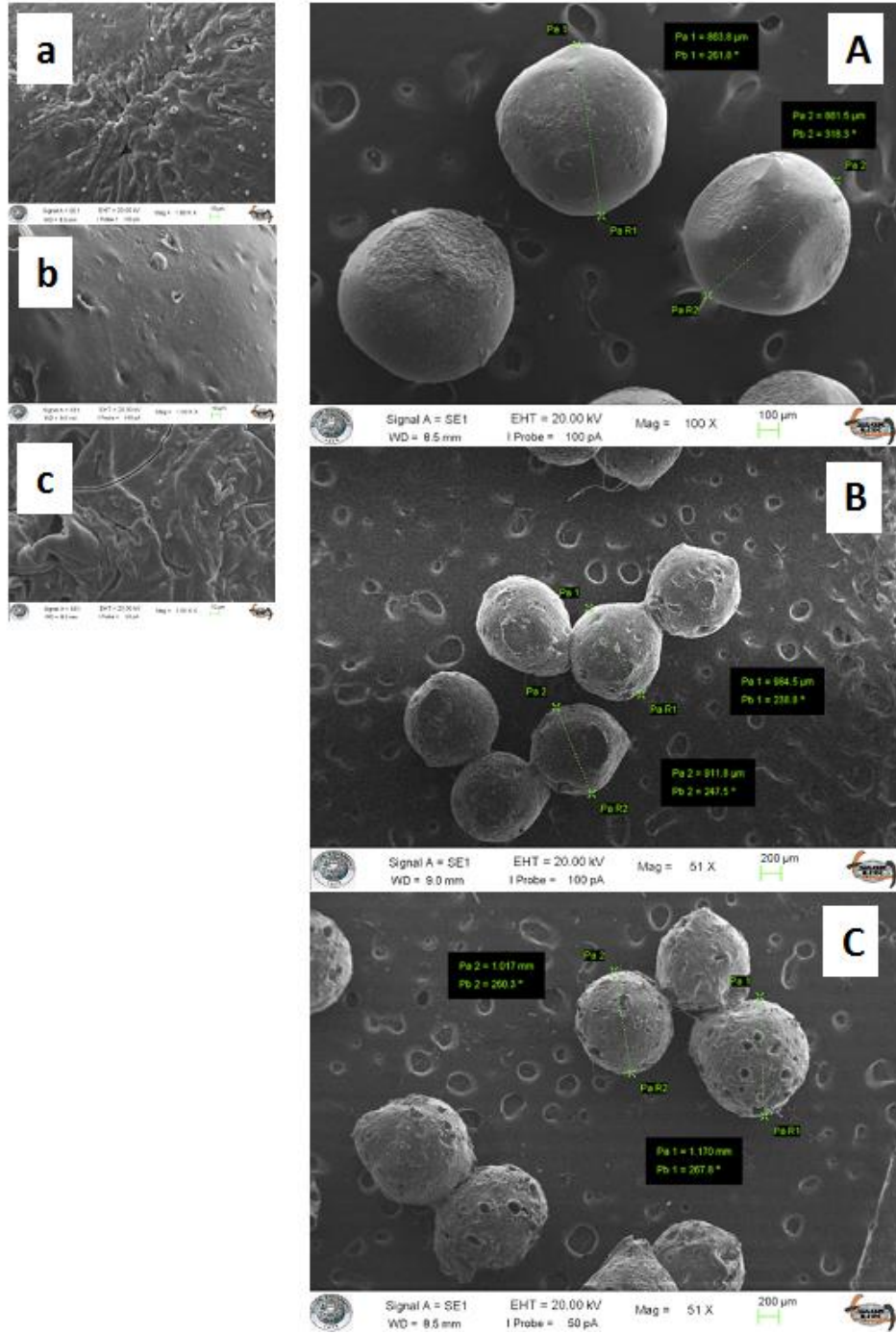
FT-IR spektrumunda; 2919–2862  $\text{cm}^{-1}$  aralığında ( $\text{CH}_3$  ve  $\text{CH}_2$  gruplarına ait C-H gerilmesi), 1146  $\text{cm}^{-1}$ 'de maleik anhidrite ait ( $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$  gerilmesi) pikleri terpolimerinin mikrokapsül içindeki varlığını doğrulamakta olduğu görülmektedir (Şengöz, 2014; Karasakal A., 2015). Maleik anhidritte olan 1847–1773  $\text{cm}^{-1}$ 'de siklo yapıdaki karbonil grubunun asimetri ve simetrik gerilmeleri, kitosan ile polimer etkileştikten sonra kaybolduğu, polimerdeki maleik anhidrit grubundan modifikasyon olduğu düşünülmektedir.

3295  $\text{cm}^{-1}$ 'de ise N-ter-Bütil Akrlamit'e ait olan pik görülmektedir (sekonder amit,  $-\text{NH}$ ), 2862  $\text{cm}^{-1}$ 'de ( $\text{CH}_2$  ve  $\text{CH}_3$  gruplarının C-H gerilmesi), 1649  $\text{cm}^{-1}$ 'de (Amit karbonili gerilmesi,  $-\text{HN}-\text{C}=\text{O}$ ), 1562  $\text{cm}^{-1}$ 'de (Amit II,  $-\text{N}-\text{H}$ ), pikleri görülmektedir (Şengöz, 2014). ter(GMA-MA-NTBA) polimerinin mikrokapsül içinde yer aldığı sonucunu doğrulamaktadır. Amit miktarı arttıkça 1649  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik şiddetinin arttığı görülmektedir. 3700–3000  $\text{cm}^{-1}$  arasında kitosanın yapısındaki  $-\text{O}-\text{H}$  ve  $-\text{N}-\text{H}$  titreşimleri görülmektedir. 3000–2850  $\text{cm}^{-1}$  arasında C-H titreşimleri görülmektedir.

### Kitosan/ter(GMA-MA-NTBA) mikrokapsülün SEM görüntüsü (SEM image of Chitosan/ter(GMA-MA-NTBA))

Hazırlanan Kitosan / ter(GMA-MA-NTBA) mikrokapsülün; yüzey yapılarına ait SEM görüntüleri farklı miktarlarda ter(GMA-MA-NTBA) içeren sırasıyla Şekil 6'da verilmiştir. Kitosanın yüzeyindeki boşlukların, kitosanın ter-(GMA-MA-NTBA) polimerleri ile mikrokapsül oluşturmamasından sonra

dolduğu ve polimer içeren mikrokapsüllerin daha kompakt bir yüzeye sahip olduğu SEM görüntülerinde de anlaşılmaktadır. Mikrokapsüller için boyut ortalaması boş kapsül, %0.25 ve %0.50 ter(GMA-MA-NTBA) polimer içeren kapsüllerin sırasıyla 862  $\mu\text{m}$ , 948  $\mu\text{m}$  ve 1094  $\mu\text{m}$  olarak belirlenmiştir.



**Şekil 6.** SEM görüntüsü: kitosan boncuklar (a, A), %0.25 ter(GMA-MA-NTBA) içerikli kitosan mikrokapsüller (b, B); %0.50 ter(GMA-MA-NTBA) içerikli kitosan mikrokapsüller (c, C)

*Figure 6.* SEM images: Chitosan beads (a, A), chitosan microcapsules with 0.25% ter(GMA-MA-NTBA) content (b, B), chitosan microcapsules with 0.50% ter(GMA-MA-NTBA) content (c, C)

## SONUÇ ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

İlk kez sentezlenmiş olan ter(GMA-MA-NTBA) polimerle % 0.25 ve % 0.50 içecek şekilde farklı oranlarda kitosan katkıli mikrokapsüllerin hazırlanması gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan yeni nesil kitosan/ter(GMA-MA-NTBA) polimer mikrokapsüllerin boyut ortalaması boş kapsül: 862 µm, % 0.25 polimer içeren: 948 µm ve % 0.50 polimer içeren: 1094 µm olarak SEM görüntülerinde tespit edilmiştir. Mikrokapsül üretiminde, kitosan-ter(GMA-MA-NTBA) karışımı kitosanın hidrojel oluşturabilme özelliği

sayesinde mikrokapsül haline getirilmiş ve mekanik ve yapısal kararlılığı sağlayabilmek için kitosanın aldehitlerle Schiff bazı oluşturması esas alınarak kitosan matriks çapraz bağlanmıştır (Tirkistani, 1998; Hassan ve diğ., 2018). Yapısal kararlı kitosan/ter(GMA-MA-NTBA) polimer mikrokapsüller, kitosanın sahip olduğu  $-OH$ ,  $-NH_2$ ,  $-NH(CO)CH_3$  gruplarının yanında terpolimerin sahip olduğu butilakrilamid, maleik anhidrit ve glisidil metakrilat'tan gelen fonksiyonel gruplar sayesinde farklı organik moleküllerle, inorganik katyonik veya anyonik türlerle, metal katyonlarıyla, oksianyonlarla etkileşim gösterebilir. Kitosan/ter(GMA-MA-NTBA) mikrokapsüller, farklı yöntem ve yaklaşımlarla sentezlenebilir, ilaç taşıma ve kontrollü ilaç salınım çalışmalarında kullanılabilir. Biyouyumlu ve doğal bir polimer olan kitosanın, farklı sentetik ve biyouyumlu polimerle birlikte mikrokapsül üretiminde kullanılması amacıyla, yeni çalışmalara ihtiyaç vardır.

#### KATKI BELİRTME (ACKNOWLEDGEMENT)

ter(GMA-MA-NTBA) polimerin hazırlanmasında katkı, öneri ve yardımları için Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümünden sayın Doç. Dr. Ahmet OKUDAN'a çok teşekkür ederim. Bu çalışmaya destek sağlayan Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) (proje no: 17401077) Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abou El-Reash Y. G., Otto M., Kenawy I. M., Ouf A. M., 2011, "Adsorption of Cr(VI) and As(V) Ions by Modified Magnetic Chitosan Chelating Resin", *International Journal of Biological Macromolecules*, Cilt 49, ss. 513-522.
- Agnihotri S. A., Aminabhavi T. M., 2006, "Novel Interpenetrating Network Chitosan-Poly(ethylene oxide-g-acrylamide) Hydrogel Microspheres for the Controlled Release of Capecitabine", *International Journal of Pharmaceutics*, Cilt 324, ss. 103-115.
- Akkaya R., Ulusoy U., 2008, "Adsorptive Features of Chitosan Entrapped in Polyacrylamide Hydrogel for  $Pb^{2+}$ ,  $UO_2^{2+}$ , and  $Th^{4+}$ ", *Journal of Hazardous Materials*, Cilt 151, ss. 380-388.
- Anirudhan T. S., Rijith S., 2009, "Glutaraldehyde Cross-linked Epoxyaminated Chitosan as an Adsorbent for the Removal and Recovery of Copper(II) from Aqueous Media", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Cilt 351, ss. 52-59.
- Atia A. A., 2005, "Studies on the Interaction of Mercury(II) and Uranyl(II) with Modified Chitosan Resins", *Hydrometallurgy*, Cilt 80, ss. 13-22.
- Babu V. R., Hosamani K. M., Aminabhavi T. M., 2008, "Preparation and in vitro Release of Chlorothiazide Novel pH-sensitive Chitosan-*N,N'*-dimethylacrylamide Semi-Interpenetrating Network Microspheres", *Carbohydrate Polymers*, Cilt 71, ss. 208-217.
- Bayramoglu G., Arica M. Y., Bektas S., 2007, "Removal of Cd(II), Hg(II), and Pb(II) Ions from Aqueous Solution Using p(HEMA/Chitosan) Membranes", *Journal of Applied Polymer Science*, Cilt 106, ss. 169-177.
- Chen J., Sun J., Yang L., Zhang Q., Zhu H., Wu H., Hoffman A. S., Kaetsu I., 2007 "Preparation and Characterization of a Novel IPN Hydrogel Membrane of Poly(*N*-isopropylacrylamide)/carboxymethyl Chitosan (PNIPAAM/CMCS)", *Radiation Physics and Chemistry*, Cilt 76, ss. 1425-1429.
- Chen C. Y., Chang T. H., Kuo J. T., Chen Y. F., Chung Y. C., 2008, "Characteristics of Molybdate-impregnated Chitosan Beads (MICB) in Terms of Arsenic Removal from Water and the Application of a MICB-packed Column to Remove Arsenic from Wastewater", *Bioresource Technology*, Cilt 99, ss. 7487-7494.
- Dinçer S., Köseli V., Kesim H., Rzaev Z. M. O. Pişkin E., 2002, "Radical Copolymerization of *N*-Isopropylacrylamide with Anhydrides of Maleic and Citraconic Acids", *European Polymer Journal*, Cilt 38, ss. 2143-2152.

- Don T. M., Chen H. R., 2005, "Synthesis and Characterization of AB-crosslinked Graft Copolymers Based on Maleilated Chitosan and *N*-isopropylacrylamide", *Carbohydrate Polymers*, Cilt 61, ss. 334-347.
- Dotto G. L., Moura J. M., Cadaval T. R. S., Pinto L. A. A., 2013, "Application of Chitosan Films for the Removal of Food Dyes from Aqueous Solutions by Adsorption", *Chemical Engineering Journal*, Cilt 214, ss. 8-16.
- Dragan E. S., Lazar M. M., Dinu M. V., Doroftei F., 2012a, "Macroporous Composite IPN Hydrogels Based on Poly(acrylamide) and Chitosan with Tuned Swelling and Sorption of Cationic Dyes", *Chemical Engineering Journal*, Cilt 204-206, ss. 198-209.
- Dragan E. S., Perju M. M., Dinu M. V., 2012b, "Preparation and Characterization of IPN Composite Hydrogels Based on Polyacrylamide and Chitosan and their Interaction with Ionic Dyes", *Carbohydrate Polymers*, Cilt 88, ss. 270-281.
- Ekberov, O. H., Basan, S., 1995, *Polimer Kimyası Laboratuvarı*, 1. Baskı, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları, No: 58, Sivas.
- Guibal E., Jansson-Charrier M., Saecudo I., Le Cloirec P., 1995, "Enhancement of Metal Ion Sorption Performances of Chitosan: Effect of the Structure on the Diffusion Properties", *Langmuir*, Cilt 11, ss. 591-598.
- Hassan, M. A., Omer, A. M., Abbas, E., Baset, W. M. A., Tamer, T. M., 2018, "Preparation, Physicochemical Characterization and Antimicrobial Activities of Novel Two Phenolic Chitosan Schiff Base Derivatives", *Scientific Reports*, Cilt 8, ss. 11416.
- Kaplan Can H., Rzaev Z. M. O., 2012, "H-Bonding Effect in Radical Terpolymerization of Maleic Anhydride, Acrylic acid(Methyl acrylate) and Vinyl Acetate", *Hacettepe Journal of Biology & Chemistry*, Cilt 40, Sayı 4, ss. 427-443.
- Karasakal A., 2015, *Aromatik Yapı İçeren Polimerlerin Sentezi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kestwal D. B., Kestwal R. M., Chiang B. H., Karve M. S., 2011, "Development of Dip-strip Sucrose Sensors: Application of Plant Invertase Immobilized in Chitosan-Guar Gum, Gelatin and Polyacrylamide Films", *Sensors and Actuators B*, Cilt 160, ss. 1026-1033.
- Klumperman B., 2010, "Mechanistic Considerations on Styrene – Maleic Anhydride Copolymerization Reactions", *Polymer Chemistry*, Cilt 1, ss. 558-562.
- Kumar M. N. V. R., Muzzarelli R. A. A., Muzzarelli C., Sashiwa H., Domb A.J., 2004, "Chitosan Chemistry and Pharmaceutical Perspectives", *Chemical Reviews*, Cilt 104, ss. 6017-6084.
- Kumar M., Bijay P. T., Vinod K. S., 2009, "Crosslinked Chitosan/Polyvinyl Alcohol Blend Beads for Removal and Recovery of Cd(II) from Wastewater", *Journal of Hazardous Materials*, Cilt 172, ss. 1041-1048.
- Liu T., Wang Z. L., Zhao L., Yang X., 2012, "Enhanced Chitosan/Fe<sup>0</sup>-nanoparticles Beads for Hexavalent Chromium Removal from Wastewater", *Chemical Engineering Journal*, Cilt 189-190, ss. 196-202.
- Ma L., Lu W., Wen J., 2009, "Encapsulation of Lactate Dehydrogenase in Carbon Nanotube Doped Alginate-Chitosan Capsules", *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, Cilt 56, ss. 102-107.
- Nie F. Q., Xu, Z. K., Wan, L. S., Ye, P., W, J., 2004, "Acrylonitrile-based Copolymers Containing Reactive Groups: Synthesis and Preparation of Ultrafiltration Membranes", *Journal of Membrane Science*, Cilt 230, ss. 1-11.
- Pal A., Pan S., Saha S., 2013, "Synergistically Improved Adsorption of Anionic Surfactant and Crystal Violet on Chitosan Hydrogel Beads", *Chemical Engineering Journal*, Cilt 217, ss. 426-434.
- Pillai C. K. S., Paul W., Sharma C. P., 2009, "Chitin and Chitosan Polymers: Chemistry, Solubility and Fiber Formation", *Progress in Polymer Science*, Cilt 34, ss. 641-678.
- Piron E., Accominoti M., Domard A., 1997, "Interaction between Chitosan and Uranyl Ions. Role of Physical and Physicochemical Parameters on the Kinetics of Sorption", *Langmuir*, Cilt 13, ss. 1653-1658.

- Rzaev Z. M. O., 1999, "Complex-radical Terpolymerization of Glycidyl(Methyl) Methacrylates, Styrene, and Maleic Anhydride", *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*, Cilt 37, ss. 1095–1102.
- Rokhade A. P., Patil S. A., Aminabhavi T. M., 2007, "Synthesis and Characterization of Semi-Interpenetrating Polymer Network Microspheres of Acrylamide Grafted Dextran and Chitosan for Controlled Release of Acyclovir", *Carbohydrate Polymers*, Cilt 67, ss. 605-613.
- Sargın I., Arslan G., 2015, "Chitosan/Sporopollenin Microcapsules: Preparation, Characterisation and Application in Heavy Metal Removal", *International Journal of Biological Macromolecules*, Cilt 75, ss. 230-238.
- Sargın I., Kaya M., Arslan G., Baran T., Ceter T., 2015, "Preparation and Characterisation of Biodegradable Pollen–Chitosan Microcapsules and its Application in Heavy Metal Removal", *Bioresource Technology*, Cilt 177, ss. 1-7.
- Sharmin N., Khan R. A., Dussault D., Salmieri S., Akter N., Lacroix M., 2012, "Effectiveness of Silane Monomer and Gamma Radiation on Chitosan Films and PCL-Based Composites", *Radiation Physics and Chemistry*, Cilt 81, ss. 932-935.
- Şengöz O., 2014, *Maleik Anhidrit İçeren Kopolimerlerin Sentezi, Karakterizasyonu ve Modifikasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Konya.
- Tirkistani, F. A. A., 1998, "Thermal Analysis of Some Chitosan Schiff Bases", *Polymer Degradation and Stability*, Cilt 60, ss. 67-70.
- Tran C. D., Duri S., Ambra Delneri A., Franko M., 2013, "Chitosan-Cellulose Composite Materials: Preparation, Characterization and Application for Removal of Microcystin", *Journal of Hazardous Materials*, Cilt 252-253, ss. 355-366.
- Wang W. B., Huang D. J., Kang Y. R., Wang A. Q., 2013, "One-step in situ Fabrication of a Granular Semi-IPN Hydrogel Based on Chitosan and Gelatin for Fast and Efficient Adsorption of Cu<sup>2+</sup> Ion", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Cilt 106, ss. 51-59.
- Wei Z., Wang C., Zou S., Liu H., Tong Z., 2012, "Chitosan Nanoparticles as Particular Emulsifier for Preparation of Novel pH-responsive Pickering Emulsions and PLGA Microcapsules", *Polymer*, Cilt 53, ss. 1229-1235.
- Won S. L., Lee H. C., Jeong Y. G., Min B. G., Lee S. C., 2009, "Preparation and Acid Dye Adsorption Behavior of Polyurethane/Chitosan Composite Foams", *Fibers and Polymers*, Cilt 10, ss. 636-642.
- Wu L. G., Shen J. N., Chen H. L., Gao C. J., 2006, "CO<sub>2</sub> Facilitated Transport Through an Acrylamide and Maleic Anhydride Copolymer Membrane", *Desalination*, Cilt 193, ss. 313-320.
- Xu R., Zhou Q., Li F., Zhang B., 2013, "Laccase Immobilization on Chitosan/poly(vinylalcohol) Composite Nanofibrous Membranes for 2,4-dichlorophenol Removal", *Chemical Engineering Journal*, Cilt 222, ss. 321-329.
- Yin L., Fei L., Cui F., Tang C., Yin C., 2007, "Superporous Hydrogels Containing Poly(acrylic acid-co-acrylamide)/O-carboxymethyl Chitosan Interpenetrating Polymer Networks", *Biomaterials*, Cilt 28, ss. 1258-1266.
- Zhao S., Zhou F., Li L., Cao M., Zuo D., Liu H., 2012, "Removal of Anionic Dyes from Aqueous Solutions by Adsorption of Chitosan-based Semi-IPN Hydrogel Composites", *Composites: Part B*, Cilt 43, ss. 1570-1578.
- Zhou C., Wu Q., 2011, "A Novel Polyacrylamide Nanocomposite Hydrogel Reinforced with Natural Chitosan Nanofibers", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Cilt 84, ss. 155-162.