



# FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Journal of Natural and Applied Sciences

ÖZEL SAYI



Cilt: 23 Sayı: Özel Volume: 23 Issue: Special e-ISSN: 1308 6529

2019  
ISPARTA



# SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Cilt 23, Özel Sayı, Yıl 2019

---

## SÜLEYMAN DEMİREL UNIVERSITY Journal of Natural and Applied Sciences

Volume 23, Special Issue, Year 2019

---

e-ISSN: 1308-6529 | DOI: 10.19113/sdufenbed

---

Bu dergi, aşağıda listelenen veri tabanları tarafından taranmaktadır / This journal is indexed by the following abstracting and indexing databases  
BASE, CAB Abstracts, CAS (Chemical Abstracts Service), CNKI Scholar, DOAJ, EBSCO Discovery Service (EDS), Google Scholar, Index  
Copernicus, InfoBase Index, JournalTOCs, ResearchBib, Ulakbim TR Dizin (Mühendislik ve Temel Bilimler), WorldCat (OCLC),  
Zentralblatt MATH

## **DERGİ HAKKINDA**

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (SDÜ Fen Bil Enst Der), 1995 yılında kurulmuş bir bilimsel araştırma dergisidir. SDÜ Fen Bil Enst Der, 2001 yılından itibaren mühendislik ve mimarlık bilimleri, tarım ve orman bilimleri ve temel bilimler alanlarında düzenli olarak Nisan, Ağustos ve Aralık aylarında yılda üç sayı yayımlanan ulusal ve uluslararası hakemli-indeksli bir dergidir. Yayımlanmak üzere gönderilen bütün makaleler; hakemler ve editörler tarafından değerlendirilir. Makaleleri değerlendiren hakemlerin isimleri yazarlara bildirilmez. Dergide, Türkçe veya İngilizce dillerinde yazılmış orijinal araştırma makaleleri yayımlanmakta olup; teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve derleme türünde bilimsel çalışmalar yayımlanmamaktadır. İngilizce dilinde yazılmış orijinal araştırma makaleleri yayımlanma önceliğine sahiptir. Dergiye yayımlanmak için gönderilen makalelerden herhangi bir değerlendirme ve başvuru ücreti alınmamaktadır.

---

## **ABOUT THE JOURNAL**

Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences (SDU J Nat Appl Sci) is a scientific research journal founded in 1995. SDU J Nat Appl Sci is a national and international indexed journal with referees, which has been published in the areas of engineering and architecture sciences, agriculture and forestry sciences and fundamental sciences three times in a year including in April, August and December, regularly since 2001. Articles submitted to the journal for publication are evaluated by referees, editorial board and editor. Names of referees evaluating the articles aren't informed to the authors (Blind peer review). The full-length original research articles written in Turkish or English language are published, but technical notes, letters to the editors, expositions and surveys are not published in the journal. The full-length original scientific research articles written in English language have the priority of publication. The Journal of Natural and Applied Sciences does not charge any publication or processing fee.



## SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

### İMTİYAZ SAHİBİ

**İlker Hüseyin ÇARIKÇI**, Prof. Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi Adına (Rektör)

### BAS EDİTÖR

**Şule Sultan UĞUR**, Doç. Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi (Enstitü Müdürü)

### EDİTÖRLER

**Ebru ÇUBUK DEMİRALAY**, Doç.Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
(Enstitü Müdür Yardımcısı)  
**Hasan KÖSEOĞLU**, Doç.Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
(Enstitü Müdür Yardımcısı)  
**Ayşenur TUNCUK**, Öğr.Gör.Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi

**Banu ESENCAN TÜRKASLAN**,  
Dr.Öğr.Üyesi  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
**Cengiz GAZELOĞLU**, Dr. Öğr. Üyesi  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
**Oğuz YAYLA**, Doç. Dr.  
Hacettepe Üniversitesi  
**Rağbet Ezgi DURAN**, Doç. Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi

**Savaş ÖZÜN**, Dr.Öğr.Üyesi  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
**Sedat AKLEYLEK**, Doç. Dr.  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
**Utku KÖSE**, Dr. Öğr. Üyesi  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
**Yasemin COŞKUN**, Doç. Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
**Yasin TUNCER**, Prof. Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi

### DANIŞMA KURULU

**Abdullah ÖZSOY**, Prof. Dr.  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.  
**Ahmet Ali İŞILDAR**, Prof. Dr.  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.  
**Ayşegül ÖKSÜZ**, Prof. Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
**Bahri KARLI**, Prof. Dr.  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.  
**Erdoğan KÜÇÜKÖNER**, Prof. Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
**Ersan AKYILDIZ**, Prof. Dr.  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
**Ersin YÜCEL**, Prof. Dr.  
Anadolu Üniversitesi

**Gerhard-Wilhelm WEBER**, Prof. Dr.  
Poznan Teknoloji Üniversitesi  
**Güven ÖNBİLGİN**, Prof. Dr.  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
**Mehmet POLAT**, Prof. Dr.  
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü  
**Metin AYDOĞDU**, Prof. Dr.  
Trakya Üniversitesi  
**Muhsin KONUK**, Prof. Dr.  
Üsküdar Üniversitesi  
**M. Zakir KANBUR**, Doç. Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
**Osman ÇETİNKAYA**, Prof. Dr.  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.

**Serdar CARUS**, Prof. Dr.  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.  
**Serpil PEHLİVAN**, Prof. Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
**Şeref SAĞIROĞLU**, Prof. Dr.  
Gazi Üniversitesi  
**Tolga TAŞDİZEN**, Doç. Dr.  
Utah Üniversitesi  
**Urfat NURİYEYEV**, Prof. Dr.  
Ege Üniversitesi

### TEKNİK EDİTÖRLER

**Mert ŞEKERCİ**, Arş. Gör. Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi

**Damla GÜVERCİN**, Arş. Gör.  
Süleyman Demirel Üniversitesi  
**Ekinhan ERİŞKİN**, Arş. Gör.  
Süleyman Demirel Üniversitesi

### BÜRO İŞLERİ

**Uğur KARATEPE**, Memur  
Süleyman Demirel Üniversitesi

### KAPAK TASARIM

**Mehmet ÖZKARTAL**, Doç. Dr.  
Süleyman Demirel Üniversitesi

**Mehmet Nuri KIVRAK**

**PRIVILEGE OWNER**

**İlker Hüseyin ÇARIKÇI**, Prof. Dr.  
On Behalf of Süleyman Demirel University (President)

**EDITOR IN CHIEF**

**Şule Sultan UĞUR**, Assoc. Prof. Dr.  
Süleyman Demirel University (Director of the Institute)

**EDITORS**

**Ebru ÇUBUK DEMİRALAY**, Assoc. Prof. Dr.  
Süleyman Demirel University  
(Associate Director of the Institute)  
**Hasan KÖSEOĞLU**, Assoc. Prof. Dr.  
Süleyman Demirel University  
(Associate Director of the Institute)  
**Ayşenur TUNCUK**, Teach.Asst.Dr.  
Süleyman Demirel University

**Banu ESENCAN TÜRKASLAN**,  
Asst. Prof. Dr.  
Süleyman Demirel University  
**Cengiz GAZELOĞLU**, Asst. Prof. Dr.  
Süleyman Demirel University  
**Oğuz YAYLA**, Assoc. Prof. Dr.  
Hacettepe University  
**Rağbet Ezgi DURAN**, Assoc.Prof.Dr.  
Süleyman Demirel University

**Savaş ÖZÜN**, Asst. Prof. Dr.  
Süleyman Demirel University  
**Sedat AKLEYLEK**, Assoc. Prof. Dr.  
Ondokuz Mayıs University  
**Utku KÖSE**, Asst. Prof. Dr.  
Süleyman Demirel University  
**Yasemin COŞKUN**, Assoc.Prof.Dr.  
Süleyman Demirel University  
**Yasin TUNCER**, Prof.Dr.  
Süleyman Demirel University

**ADVISORY BOARD**

**Abdullah ÖZSOY**, Prof. Dr.  
Isparta University of Applied Sciences  
**Ahmet Ali İŞILDAR**, Prof. Dr.  
Isparta University of Applied Sciences  
**Ayşegül ÖKSÜZ**, Prof. Dr.  
Süleyman Demirel University  
**Bahri KARLI**, Prof. Dr.  
Isparta University of Applied Sciences  
**Erdoğan KÜÇÜKÖNER**, Prof. Dr.  
Süleyman Demirel University  
**Ersan AKYILDIZ**, Prof. Dr.  
Middle East Technical University  
**Ersin YÜCEL**, Prof. Dr.  
Anadolu University

**Gerhard-Wilhelm WEBER**, Prof. Dr.  
Poznan University of Technology  
**Güven ÖNBİLGİN**, Prof. Dr.  
Ondokuz Mayıs University  
**Mehmet POLAT**, Prof. Dr.  
İzmir Institute of Technology  
**Metin AYDOĞDU**, Prof. Dr.  
Trakya University  
**Muhsin KONUK**, Prof. Dr.  
Üsküdar University  
**M. Zakir KANBUR**, Assoc. Prof. Dr.  
Süleyman Demirel University  
**Osman ÇETİNKAYA**, Prof. Dr.  
Isparta University of Applied Sciences

**Serdar CARUS**, Prof. Dr.  
Isparta University of Applied  
Sciences  
**Serpil PEHLİVAN**, Prof. Dr.  
Süleyman Demirel University  
**Şeref SAĞIROĞLU**, Prof. Dr.  
Gazi University  
**Tolga TAŞDİZEN**, Assoc. Prof. Dr.  
University of Utah  
**Urfat NURİYEV**, Prof. Dr.  
Ege University

**TECHNICAL EDITORS**

**Mert ŞEKERCİ**, Res. Asst. Dr.  
Süleyman Demirel University

**Damla GÜVERCİN**, Res. Asst.  
Süleyman Demirel University  
**Ekinhan ERİŞKİN**, Res. Asst.  
Süleyman Demirel University

**OFFICE WORK**

**Uğur KARATEPE**, Staff  
Süleyman Demirel University

**COVER DESIGN**

**Mehmet ÖZKARTAL**, Assoc. Prof. Dr. **Mehmet Nuri KIVRAK**  
Süleyman Demirel University

**İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS****Sayfa / Pages**

Değişik Zamanlarda Hasat Edilen Farklı Tipteki Şeker Pancarı ( <i>Beta vulgaris</i> var. <i>saccharifera</i> L.) Çeşitlerinin Verim ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi..... 1-8 <i>Determination of Yield and Some Quality Traits of Varied Types of Sugarbeet (Beta vulgaris var. saccharifera L) Cultivars Harvested at Different Times</i> <b>Bekir TOSUN, Tahsin KARADOĞAN, Arif ŞANLI</b>	
A New Record and New Localities for the Genus <i>Sclerogaster</i> R.Hesse in Turkey ..... 9-12 <i>Türkiye'deki Sclerogaster R.Hesse Cinsi için Yeni Bir Kayıt ve Yeni Lokaliteler</i> <b>Yasin UZUN, Abdullah KAYA, Semiha YAKAR</b>	
Sulu Ortamda N-Heterosiklik Karben/Palladyum Katalizli Suzuki-Miyaura ÇaprazEşleşme Tepkimeleri ..... 13-20 <i>N-Heterocyclic Carbene/Palladium-Catalyzed Suzuki-Miyaura Cross-Coupling Reactions in Aqueous Medium</i> <b>Murat KALOĞLU</b>	
Enhancing Carrier Mobility in Organic Light Emitting Diode Based Polyfluorene by Self-Assembled Monolayers Technique on Indium Tin Oxide..... 21-25 <i>İndiyum Kalay Oksit Üzerinde Kendiliğinden Organize Tek Tabaka Tekniği ile Polifluoren Tabanlı Organik Işık Yayan Diyotun Taşıyıcı Mobilitesinin Geliştirilmesi</i> <b>Ali Kemal HAVARE</b>	
Pomza'nın Fiziksel Özelliklerinin Kuru Birim Hacim Ağırlığı ve Termal İletkenliği Üzerine Etkileri..... 26-32 <i>Influences of Physical Properties of Pumice on Its Dry Unit Volume Weight and Thermal Conductivity</i> <b>Savaş ÖZÜN</b>	
İstanbul ve Eskişehir Bölgesi Minimum-Maksimum Yağış Miktarlarının Ekstrem Değerler Dağılımları Ailesi ile Modellenmesi..... 33-39 <i>Modelling of Maximum and Minimum Rainfall of Istanbul and Eskisehir Region by the Family of Extreme Value Distributions</i> <b>Mustafa ÇAVUŞ, Özer ÖZDEMİR, Ahmet SEZER</b>	
Delme Hızının Akışkan Ortam Basıncı ve Dönme Hızına Bağlı Değişiminin Araştırılması ..... 40-45 <i>Investigation of Change in Drilling Speed Depending on Fluid Ambient Pressure and Rotation Speed</i> <b>İksan TUNCER, Raşit ALTINDAĞ</b>	
Jeofizik Yöntemler ile Yer ve Yapı Etkileşimi ..... 46-60 <i>Ground and Structural Interaction Using Geophysical Methods</i> <b>Erkan ATEŞ, Osman UYANIK</b>	
Patlıcanda ( <i>Solanum melongena</i> L.) Mikrospor Kültürü Üzerine Bir Ön Araştırma ..... 61-66 <i>A Preliminary Research on Microspore Culture in Eggplant (Solanum melongena L.)</i> <b>Buse ÖZDEMİR ÇELİK, Ahmet Naci ONUS</b>	
Synthesis of Some New Isatin Derivatives and Identification of Their Structures..... 67-70 <i>Bazı Yeni İsatın Türevlerinin Sentezi ve Yapılarının Aydınlatılması</i> <b>İnci Selin DOĞAN, Gökçe Gül BÖLEK, Bahittin KAHVECİ</b>	
Bazı İlaç Gruplarının Su Ortamına Olan Etkilerinin Akut Toksikite Testleri ile Değerlendirilmesi..... 71-75 <i>Assessment of Acute Toxicity of Some Pharmaceuticals Effects in Aquatic Environment by Toxicity Test Methods</i> <b>Süheyla TONGUR, Sevil YILDIZ, Rifat YILDIRIM</b>	
Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi ile Sayım Modelleri için En Uygun Değişken Kümesinin Belirlenmesi.. 76-83 <i>Determination of Best Variable Set for Count Models by Particle Swarm Optimization</i> <b>Haydar KOÇ, Tuba KOÇ, Emre DÜNDER</b>	
The use of TS498 and TS-EN-1991-1-4 in the Wind Load Calculation of Reinforced Concrete Minarets Considering Soil-Structure Interaction ..... 84-93 <i>Betonarme Minarelerin Zemin-Yapı Etkileşimiyle Rüzgâr Yüğü Hesaplamasında TS498 ve TS-EN-1991-1-4'ün Kullanılması</i> <b>Erdem TÜRKELİ</b>	
Effect of Stitch Types Used in Apparel Production on Aerobic Mesophilic Bacteria Growth..... 94-98	

*Hazır Giyim Üretiminde Kullanılan Dikiş Türlerinin Aerobik Mezofilik Bakteri Büyümesine Etkisi*  
**Behiye Elif ŞAMLI, Zümrüt BAHADIR ÜNAL**

A New Power Allocation Method with a Nonlinear Cost Constraint in Stratified Random Sampling..... 99-107  
*Tabakalı Tesadüfi Örneklemede Doğrusal Olmayan Maliyet Kısıtı Altında Yeni bir Güç Paylaştırma Yöntemi*  
**Sinem Tuğba ŞAHİN TEKİN, Cenker Burak METİN, Yaprak Arzu ÖZDEMİR**

Mermer Ocaklarında Kullanılan Zincirli Kesme Makinelerinin Performansının Araştırılması ..... 108-118  
*Investigation of the Performance of Chain Saws Used in Marble Quarries*  
**Muhammed Ali ÇALIŞKAN, Hüseyin YAVUZ**

The Comparison of the Estimators for the Parameters of the General Linear Regression Model via Simulation and Two Real Life Data Examples ..... 119-130  
*Genel Doğrusal Regresyon Modelinin Parametrelerine Yönelik Tahmin Edicilerin Simülasyon Yoluyla Karşılaştırılması ve İki Gerçek Hayat Veri Örneği*  
**Nalan MUTLU, Hakan Savaş SAZAK**

Aromatic and Sensorial Properties of Çökelek Cheese Produced by Different Methods ..... 131-138  
*Farklı Yöntemlerle Üretilen Çökelek Peynirinin Aromatik ve Duyusal Özellikleri*  
**İlhan GÜN, Onur GÜNEŞER, Yonca KARAGÜL YÜCEER, Zeynep Banu GÜZEL SEYDİM, Fatma TORUN, Sevda ÇAKICI**

Bazı Fenolik Bileşiklerin Yoğunluk Fonksiyonu Yöntemi ile Antioksidan Aktivitelerinin Tayin Edilmesi ..... 139-146  
*Determination of Antioxidant Activities by Density Function Method of Some Phenolic Compounds*  
**Vildan ENİSOĞLU ATALAY, Hatice OCAK**

Evaluation of Chemical and Mineralogical Structure of Davutoğlan Bird Sanctuary Clay for It's Antimicrobial Efficiency..... 147-154  
*Davutoğlan Kuş Cenneti Kilinin Kimyasal ve Mineralojik Yapısının Antimikrobiyal Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi*  
**Şaziye Betül SOPACI**

İspenç Tavuğu ve Horozlarında Bazı Morfolojik Özellikler ..... 155-162  
*Some Morphological Characteristics of İspenç Roosters and Chickens*  
**Demir ÖZDEMİR**

Using Fuzzy Set Theory in the Comparison of Customer Satisfaction Levels..... 163-168  
*Bulanık Küme Teorisinin Müşteri Memnuniyeti Karşılaştırmasında Kullanılması*  
**Nur AYVAZ ÇAVDAROĞLU**

AHP Metoduyla Yer'e Özgü Mimari Tasarım Kriterlerinin Öncelik Sırasının Belirlenmesi..... 169-180  
*Determination of the Priority Order of Place-Specific Architectural Design Criteria by AHP Method*  
**Emine YILDIZ KUYRUKÇU, Ahmet ALKAN**

A Practical Method for the Dynamic Analysis of Non-Uniform Piezoelectric Rod..... 181-186  
*Düzensiz Olmayan Piezoelektrik Çubuğun Dinamik Analizi için Pratik Bir Yöntem*  
**Durmuş YARIMPABUÇ, Mehmet EKER, Kerimcan ÇELEBİ**

On the Hyperharmonic Function ..... 187-193  
*Hiperharmonik Fonksiyon Üzerine*  
**Ayhan DİL**



## Değişik Zamanlarda Hasat Edilen Farklı Tipteki Şeker Pancarı (*Beta vulgaris* var. *saccharifera* L.) Çeşitlerinin Verim ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi

Bekir TOSUN<sup>\*1</sup>, Tahsin KARADOĞAN<sup>2</sup>, Arif ŞANLI<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

<sup>1</sup>(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-2470-3865)

<sup>2</sup>(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-3422-8295)

<sup>3</sup>(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-5443-2082)

(Alınış / Received: 04.06.2018, Kabul / Accepted: 30.11.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 26.02.2019)

### Anahtar Kelimeler

Şeker pancarı,  
*Beta vulgaris* var. *saccharifera* L.,  
Çeşit,  
Hasat Zamanı,  
Verim,  
Kalite

**Özet:** Isparta ekolojik koşullarında 2012 ve 2013 yıllarında yürütülen bu araştırmada farklı zamanlarda hasat edilen (çıkıştan 140, 155, 170, 185 ve 200 gün sonra) değişik tiplerdeki şeker pancarı çeşitlerinin (Begonia, Aranka ve Esperanza (N tipi), Sandrina ve Esperia (NZ tipi), Felicita ve Agnessa (Z tipi) verim ve bazı kalite özellikleri incelenmiştir. En yüksek kök gövde ve biyolojik verim erken sökümden Aranka, geç sökümden ise Esperia çeşitlerinden elde edilmiştir. En düşük  $\alpha$ -amino azot miktarı erken sökümden Aranka (5.68 mmol/100g), geç sökümden ise Esperia (2.05 mmol/100g) ve Esperanza (2.11 mmol/100g) çeşitlerinde belirlenmiştir. Erken ve geç sökümde Z tipi olan Felicita ve Agnessa çeşitleri en yüksek polar şeker oranına sahip olmuştur. En yüksek polar şeker verimi erken sökümden Aranka (1490 kg/da), geç sökümden ise Esperia (1867 kg/da) ve Sandrina (1860 kg/da) çeşitlerinden elde edilmiştir. Çalışmada, Isparta koşullarında yüksek verim ve teknolojik uygunluk bakımından Aranka ve Begonia çeşitlerinin 200 gün, diğer çeşitlerin ise en az 185 günlük vejetasyon dönemini tamamlaması gerektiği sonucuna varılmıştır.

## Determination of Yield and Some Quality Traits of Varied Types of Sugarbeet (*Beta vulgaris* var. *saccharifera* L.) Cultivars Harvested at Different Times

### Keywords

Sugar beet,  
*Beta vulgaris* var. *saccharifera* L.,  
Cultivars,  
Harvest time,  
Yield,  
Quality

**Abstract:** The present study was carried out at Isparta ecological conditions during 2012 and 2013 crop seasons to determine the effects of different harvest times (140, 155, 170, 185 and 200 days after emergence) at different types of sugarbeet cultivars (Begonia, Aranka and Esperanza (N types), Sandrina and Esperia (NZ types), Felicita and Agnessa (Z types) on yield and some quality parameters. The highest sugarbeet yield and biological yield per decare were obtained from Aranka cultivar at early harvest times and from Esperia cultivar at late harvest times. The lowest amount of  $\alpha$ -amino nitrogen were determined from Aranka (5.68 mmol/100g) at early harvest and from Esperia (2.05 mmol/100g) and Esperanza (2.11 mmol/100g) cultivars at late harvest time. The highest polar sugar content were determined from Felicita and Agnessa cultivars (Z types) at early and late harvests. The highest polar sugar yield per decare were obtained from Aranka cultivar (1490 kg/da) at early harvest and from Esperia cultivar (1867 kg/da) and Sandrina (1860 kg/da) cultivars at late harvest. It was concluded that Aranka and Begonia cultivars should be completed 200 days while other cultivars at least 150 days of vegetation period in terms of high root yield and technological quality in Isparta conditions.

## 1. Giriş

Şeker pancarının başlangıçtaki şeker içeriği %1,3 oranında iken ıslah edilerek günümüzde % 24'lere kadar çıkarılmıştır [1]. Islah çalışmaları ile şeker oranı, verim ve hastalıklara dayanıklılık gibi özellikleri bakımından E (kitle verim tipi), N (kitle ve şeker verimi kombine tipi), Z (şeker oranı yüksek tipi), NZ (verim ve şeker tipi), ZZ (ekstra yüksek şeker tipi ıslah materyali), CR (cercoşpora'ya dayanıklı) ve GR (yeşilbaş tipi) gibi farklı şeker pancarı tipleri geliştirilmiştir. Şeker pancarı hastalıklarının yaygın olarak görüldüğü yağışlı bölgelerimizde genellikle CR ve külemeye dayanıklı pancar çeşitleri tercih edilirken, fiyat belirlemede polar şeker miktarı dikkate alındığından ülke genelinde çiftçi ve şeker şirketlerinin anlaştığı N tipi ön planda olmak üzere NZ ve Z tipleri de üretilmeye başlanmıştır.

Şeker pancarı bitkisi yeterli nem ve sıcaklık koşullarının sağlanması halinde vejetasyon periyodu süresince gelişmeye devam edebilmektedir [2]. Pancar kök-gövdesindeki kuru madde gelişme mevsimi ilerledikçe artış göstermekte, şeker oranı %20-25'e kadar çıkabilmektedir [3]. Bu nedenle şeker pancarının hasat zamanı kök-gövde gelişiminin yeterince olduğu dönemde başlamakta, fabrikanın üretim sezonu, erken söküme isteği, iklim şartları, üreticinin iş ve ekipman gücü, kendinden sonra gelecek bitkinin ekim zamanı dikkate alınarak Eylül ayından başlamak üzere 2-3 aylık bir periyotta yapılmaktadır.

Bu çalışmada; birim alan kök-gövde verimi ile şeker oranını optimize edecek farklı tiplerdeki pancar çeşitlerinin bölgedeki uyum yetenekleri (çeşit x çevre etkileşimleri) ve bu çeşitlerin optimum şeker üretimi için en uygun hasat zamanlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu araştırma, 2012 ve 2013 üretim sezonunda Süleyman Demirel Üniversitesi Tarımsal Araştırma

ve Uygulama Merkezi deneme alanlarında yürütülmüştür. Denemede KWS Türk Tarım A.Ş. firmasından temin edilen genetik monogerm özellikteki Aranka ve Espernaza (N tipi), Sandrina ve Esperia (NZ tipi), Felicita ve Agnessa (Z tipi) ile bölgede yetiştiriciliği gerçekleştirilen Begonia (N tipi) şeker pancarı çeşitleri olmak üzere toplam 7 çeşit materyal olarak kullanılmıştır.

Denemeler her iki yılda da toprak özellikleri benzer alanlarda kurulmuş olup, deneme tarlası toprağı; tekstür bakımından tınlı, pH 8.2, toplam tuz içeriği %0,025 ve katyon değişim kapasitesi % 36, kireççe zengin (%25,5), organik madde miktarı bakımından fakir (%1,3) (Walclely-Black metoduna göre), alınabilir fosfor (16.8 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) bakımından fakir, potasyum bakımından zengin (179 kg/da K<sub>2</sub>O)'dir.

Araştırmanın yapıldığı 2012 ve 2013 yıllarında ortalama sıcaklık uzun yıllar ortalamasına göre daha yüksek olmuştur. Deneme yıllarındaki ortalama nispi nemin uzun yıllar ortalamasına benzer olduğu görülmüştür. Vejetasyon döneminde düşen yağış miktarı çalışmanın ilk yılında (295.2 mm) uzun yıllar ortalamasından (261.1 mm) yüksek, ikinci yılında ise (269.4 mm) benzer olmuştur. Yağış miktarının üretim sezonundaki aylara göre değişimi incelendiğinde, 2013 yılı aylık yağış değişimi, uzun yıllar ortalamasına paralellik gösterirken, 2012 yılında Mayıs ayında uzun yıllar ortalaması ve 2013 yılına göre yaklaşık iki kat fazla yağış meydana gelmiştir. Haziran ayında ise 2012 yılında uzun yıllar ortalaması ve 2013 yılına göre daha az yağış meydana gelmiştir (Tablo 1).

### 2.1. Yöntem

Çalışma, her iki yılda da Tesadüf Blokları Deneme planında faktöriyel denem desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Çalışmada birinci faktör olarak şeker pancarı çeşitleri, ikinci faktör olarak da hasat zamanları (çıkıştan 140, 155, 170, 185 ve 200 gün sonra) ele alınmıştır.

**Tablo 1.** Deneme yılları ve uzun yıllar ortalaması iklim verileri

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)			Ortalama Nispi nem (%)			Toplam Yağış (mm)		
	Uzun yıllar	2012	2013	Uzun yıllar	2012	2013	Uzun yıllar	2012	2013
Nisan	10.7	11.7	11.7	61.3	55.2	56.5	56.2	53.2	53.3
Mayıs	15.6	14.5	15.1	57.4	64.0	50.4	50.4	107.4	55.7
Haziran	20.2	22.4	20.0	51.2	43.6	47.4	29.6	18.1	33.2
Temmuz	23.6	25.4	24.5	45.4	39.7	41.5	14.9	0.8	13.7
Agustos	23.2	22.8	24.9	46.4	41.4	39.1	10.5	34.6	12.1
Eylül	18.6	20.2	18.4	51.9	43.8	43.3	15.4	16.4	18.6
Ekim	12.9	14.6	12.9	62.0	65.1	54.0	37.6	38.8	37.7
Kasım	7.4	9.1	6.8	68.5	70.6	65.5	46.5	25.9	45.2
<b>Toplam</b>	15.6	17.6	16.8	55.5	53.0	55.4	261.1	295.2	269.4

Değerler Devlet Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınmıştır.

Ekimler, her iki yılda da Nisan ayının ilk haftasında (5-6 Nisan), 10 cm sıra üzeri ve 45 cm sıra arası olacak şekilde el ile yapılmıştır. Denemede her parsel 6 m uzunluğunda toplam 4 sıradan oluşmuştur. Çalışma her blokta 7 çeşit x 5 hasat zamanı olmak üzere 35 parsel, toplamda ise 105 parsel olarak kurulmuştur. Bloklar arasında 2 m boşluk bırakılarak yapılan ekimler için toplamda 1365 m<sup>2</sup> (blok uzunluğu 65 m x blok eni 21 m)'lik bir alan kullanılmıştır. Çalışmada saf 15 kg/da azot ve 10 kg/da fosfor olacak şekilde gübreleme yapılmıştır [4].

Fosforun tamamı ve azotlu gübrenin yarısı ekimle beraber Diamonyum fosfat (DAP %18 N % 46 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ve amonyum sülfat (% 21 N) formunda verilmiştir. Azotun kalan kısmı ise ilk çapa ile beraber amonyum nitrat (% 33 N) formunda uygulanmıştır. Su stresinden dolayı bitkilerde renk koyu yeşile dönmeye başladığında yağmurlama sulama yöntemi ile sulama yapılmıştır. Denemenin ilk yılında 8, ikinci yılında ise 9 defa sulama işlemi yapılmıştır. Bitkilerin 3-6 yapraklı olduğu rozet döneminde ilk çapa yapılmış, ilk çapalama ile birlikte sıra üzeri mesafe 20-25 cm olacak şekilde seyreltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yabancı ot yoğunluğuna bağlı olarak 2-3 kez el ile yabancı ot mücadelesi yapılmıştır.

Pancar hasat zamanları, Burdur Şeker Fabrikasının pancar hasat süresi (170 gün) ve erken söküm

dikkate alınarak belirlenmiştir. Buna göre ilk bitki hasatları çıkışların tamamlanmasından 140 gün sonra başlamış; 1-6 Eylül (140), 15-20 Eylül (155), 1-6 Ekim (170), 15-20 Ekim (185) ve 1-6 Kasım (200) olmak üzere 5 farklı zamanda her parselin ortasındaki iki sıra pancar çatalı kullanılarak hasat edilmiştir.

Ölçüm ve analizler sonucu elde edilen veriler SAS (2009) istatistik paket programında GLM prosedürü kullanılarak standart varyans analizi tekniğinde (ANOVA) analiz edilmiş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD çoklu karşılaştırma testine göre belirlenmiştir.

### 3.Bulgular

Çalışmada, 2012 ve 2013 yetiştirme sezonları arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 2). Bulguların açıklanmasında iki yıllık ortalama veriler kullanılmıştır.

**Kök-Gövde Verimi:** Çeşitlerin ortalama kök-gövde verimleri 6731 ile 8860 kg/da arasında geniş bir değişim göstermiştir. NZ tipinde olan Esperia (8860 kg/da) ile N tipinde olan Aranka (8834 kg/da) ve Esperanza (8758 kg/da) çeşitleri aynı istatistiki grupta yer alarak en yüksek ortalama dekara kök-gövde verimine sahip olmuşlardır. En düşük kök-gövde verimi ise Z tipinde olan Felicita (6731 kg/da) çeşidinde belirlenmiştir (Tablo 3).

**Tablo 2.** Farklı zamanlarda hasat edilen şeker pancarı çeşitlerinin bazı verim unsurları ve kalite kriterleri ile ilgili varyans analiz tablosu

Varyasyon Kaynakları	SD	Dekara Kök-gövde Verimi	Dekara Biyolojik Verim	$\alpha$ -Amino Azot	Polar Şeker	Dekara Polar Şeker Verimi
Yıl (Y)	1	0.70	1.80	0.04	1.97	0.01
Blok(Yıl)	4	2.52	0.91	0.58	1.97	2.23
Çeşit (Ç)	6	129**	188**	681**	213**	32.5**
Y x Ç	6	0.44	0.25	1.06	0.77	0.41
Söküm Zamanı (S)	4	150**	5.58**	5112**	130**	214**
Y x S	4	0.03	0.06	1.09	3.17*	0.59
Ç x S	24	4.16**	6.43**	106**	11.20**	3.87**
Ç x S x Y	25	0.03	0.08	1.33	1.14	0.17
Hata	136					
VK (%)		4.95	4.10	3.48	2.35	5.76

\* 0.05; \*\* 0.01 seviyesinde önemli

**Tablo 3.** Değişik zamanlarda hasat edilen şeker pancarı çeşitlerinin dekara kök-gövde verimleri (kg)

Çeşit/Söküm zamanı	Aranka	Esperanza	Sandrina	Esperia	Felicita	Agnessa	Begonia	Ortalama
140	8396	7612	7557	7451	6007	6139	6348	7073 d
155	8605	8110	8277	8174	6446	6907	7092	7659 c
170	8823	8984	8973	8762	6761	7752	7965	8289 b
185	9073	9482	9037	9820	7110	8024	8612	8737 a
200	9273	9602	9084	10096	7332	8155	9064	8887 a
Ortalama	8834 a	8758 a	8506 b	8860 a	6731 e	7396 d	7816 c	

Lsd çxS : 460

Hasat zamanının gecikmesi ile birlikte çeşitlerin ortalama kök-gövde verimleri artış göstermiştir. Çıkıştan 140 gün sonra ortalama 7073 kg/da olarak belirlenen kök-gövde verimi son hasat zamanında (çıkıştan 200 gün sonra) yaklaşık %25 oranında artarak 8887 kg/da'a yükselmiştir (Tablo 3). Hasadın gecikmesi ile birlikte kök veriminde gerçekleşen artış oranları, ilk hasattan son hasada doğru sırasıyla %6,7, %8,2, %5,2 ve %2,6 olarak gerçekleşmiştir.

Çeşitlerin kök-gövde verimleri hasat zamanına bağlı olarak önemli varyasyonlar göstermiştir. Aranka, Esperanza, Begonia, Sandrina ve Agnessa çeşitlerinin kök-gövde verimleri 170. günden sonra yapılan hasatlarda istatistiki açıdan önemli bir değişim göstermezken, Esperia ve Felicita çeşitlerinde ise en yüksek kök-gövde verimleri 185. günden sonra yapılan hasatlarda belirlenmiştir (Tablo 3). Esperia ve Begonia çeşitlerinin kök-gövde verimlerinde hasat zamanı boyunca meydana gelen artış miktarı (2500 kg/da'dan fazla) diğer çeşitlerden daha yüksek olurken, en düşük artış Aranka çeşidinde (900 kg/da) ortaya çıkmıştır (Tablo 3).

**Dekara Biyolojik Verim:** Araştırmada kullanılan çeşitlerden Sandrina (11641 kg/da), Aranka (11549 kg/da) ve Esperanza (11430kg/da) aynı istatistiki grupta yer alarak en yüksek biyolojik verime sahip olurken, en düşük biyolojik verim Felicita (8912 kg/da) çeşidinde belirlenmiştir (Tablo 4).

Hasat zamanının biyolojik verim üzerine etkisi değişken olmuş, ilk hasattan 170. güne kadar yapılan hasatlarda ortalama biyolojik verim (10768-10632 kg/da) dalgalanma göstermekle birlikte meydana gelen değişimler istatistiki anlamda önemsiz çıkmış, son hasat zamanında ortalama biyolojik verim (10357 kg/da) ise önemli derecede azalma göstermiştir (Tablo 4).

Çeşitlerin biyolojik verimleri hasat zamanına bağlı olarak önemli düzeyde değişiklik göstermiştir. Aranka ve Felicita çeşitleri çıkıştan 140 gün, Sandrina çeşidi 170 gün, Begonia çeşidi ise 185 gün sonra en yüksek biyolojik verim değerine ulaşmıştır. Esperanza ve Agnessa çeşitlerinde ise hasat zamanının biyolojik verim üzerine önemli bir etkisi olmamıştır (Tablo 4).

**$\alpha$ -Amino Azot Miktarı:** Çeşitlerin ortalama  $\alpha$ -amino azot içerikleri 3.45-ile 5.23 mmol/100g arasında geniş bir değişim göstermiştir. Çeşitlerin arasında en yüksek  $\alpha$ -amino azot içeriği Z tipinde olan Agnessa (5.23 mmol/100g) çeşidinde belirlenirken, bunu sırası ile N tipindeki Begonia (4.88mmol/100 g) ve yine Z tipindeki Felicita (4.39mmol/100g) çeşitleri takip etmiştir. En düşük  $\alpha$ -amino azot miktarı ise Esperanza ve Esperia çeşitlerinde (sırasıyla 3.45 ve 3.48 mmol/100g) tespit edilmiştir (Tablo 5).

Çalışmada kullanılan tüm çeşitlerde  $\alpha$ -amino azot içeriği hasat zamanının ilerlemesi ile birlikte önemli oranlarda azalma göstermiştir. Çeşitlerin ilk ve son hasat zamanları arasında  $\alpha$ -amino azot içeriklerinde meydana gelen azalma miktarı oransal olarak farklılık göstermiş, çıkıştan 140 gün sonra yapılan hasatlarda çeşitlerin ortalama  $\alpha$ -amino azot içerikleri 5.68-9.02 mmol/100g arasında değişim gösterirken, son hasat zamanında çeşitler arasındaki farklılık (2.05-3.94 mmol/100g) önemli ölçüde azalmıştır (Tablo 5). Agnessa çeşidinin  $\alpha$ -amino azot içeriği ilk ve son hasat zamanları arasında

%70'den fazla azalma gösterirken, bu azalma Begonia çeşidinde %37 oranında olmuş, diğer çeşitlerde ise %51-66 arasında gerçekleşmiştir (Tablo 5). Çeşitler arasındaki azalma oranının zamana göre farklılık sergilemesi çeşit x hasat zamanı etkileşiminin önemli olmasında etkili olmuştur.

**Tablo 4.** Hasat zamanına bağlı olarak şeker pancarı çeşitlerinin dekara biyolojik verimleri (kg)

Çeşit/ Söküm zamanı	Aranka	Esperanza	Sandrina	Esperia	Felicita	Agnessa	Begonia	Ortalama
140	12544	11750	12304	10451	9369	9482	9482	10768 a
155	12038	11419	11444	10540	9132	9362	9696	10672 ab
170	11518	11479	11685	11196	8868	9934	10029	10632 ab
185	11072	11355	11590	11536	8629	9917	10330	10518 bc
200	10572	11153	11183	11354	8562	9438	10237	10357 c
<b>Ortalama</b>	11549 a	11430a	11641 a	11016 b	8912 e	9627 d	9955 c	

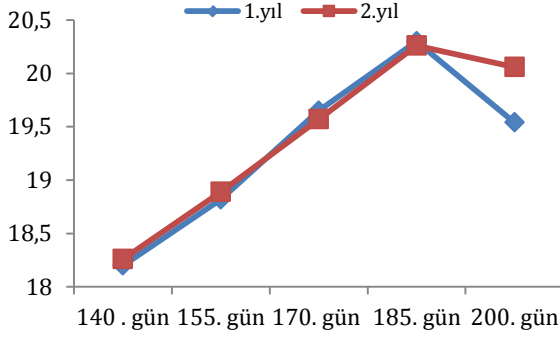
Lsd çxs :496

**Tablo 5.** Hasat zamanına bağlı olarak şeker pancarı çeşitlerinin  $\alpha$ -amino azot miktarı (mmol/100 g)

Çeşit/ Söküm zamanı	Aranka	Esperanza	Sandrina	Esperia	Felicita	Agnessa	Begonia	Ortalama
140	5.68	5.99	6.52	5.87	7.30	9.02	6.31	6.67 a
155	3.95	3.83	4.81	3.69	5.14	6.49	5.43	4.76 b
170	3.26	2.87	3.76	3.01	4.74	4.72	4.48	3.83 c
185	2.92	2.43	3.37	2.80	2.43	3.61	4.23	3.12 d
200	2.67	2.11	2.55	2.05	2.36	2.33	3.94	2.57 e
<b>Ortalama</b>	3.70 e	3.45 f	4.20 d	3.48 f	4.39 c	5.23 a	4.88 b	

Lsdçxs:0.23

**Polar Şeker Oranı:** Çeşitlerin ortalama polar şeker oranları tiplere bağlı olarak değişim göstermiş, şeker tipi (Z tipi) olan Felicita (%21,16) en yüksek polar şeker oranına sahipken, bunu yine şeker tipinde olan Agnessa (%20,85) çeşidi takip etmiştir. Normal (N tipi) tipte olan Aranka (%18,35) ve Esperanza (%18,09) çeşitlerinin polar şeker oranları daha düşük olarak belirlenmiştir (Tablo 6).



**Şekil 1.** Söküm zamanı ve yıllara bağlı olarak polar şeker oranındaki değişim

Hasat zamanlarının ortalama polar şeker oranı üzerine etkisi çok önemli olmuş, ilk hasat zamanında %18,27 olan ortalama polar şeker oranları 185. güne kadar lineer olarak artış göstermiş ve %20,28'e yükselmiştir. Son hasat zamanı olan 200. günde ise polar şeker oranı önemli derecede azalmış ve %19,80 seviyesine düşmüştür (Tablo 6).

**Dekara Polar Şeker Verimi:** Çalışmada en yüksek polar şeker verimi NZ tipi pancar grubunda yer alan Esperia (1674 kg/da) çeşidinde belirlenmiş, bunu aynı tipte olan Sandrina (1664 kg/da) çeşidi takip etmiştir. Z tipindeki Felicita (1429 kg/da) çeşidi ile N tipindeki Begonia (1469 kg/da) çeşitleri aynı

istatistikî grupta yer alarak en düşük polar şeker verimine sahip olan çeşitler olmuştur (Tablo 7).

Polar şeker verimi hasat zamanının ilerlemesi ile birlikte önemli derecede artış göstermiş, çıkıştan 140 gün sonra 1289 kg/da olarak belirlenen ortalama polar şeker verimi, çıkıştan sonra 185. ve 200. günlerde yapılan hasatlarda sırası ile 1760 kg/da ve 1750 kg/da seviyesine ulaşmıştır (Tablo 7).

Çeşitlerin hasat zamanına bağlı olarak polar şeker verimleri önemli değişimler göstermiştir. Aranka, Esperanza ve Sandrina çeşitlerinde polar şeker verimleri hasat zamanının ilerlemesi ile beraber artmış, bu artış 185. günden sonra yapılan hasatlarda istatistikî açıdan önemsiz bulunmuştur. Esperia, Felicita, ve Begonia çeşitlerinde polar şeker verimi 185. güne kadar artmış, daha sonra ise azalma eğiliminde olmuştur. Esperia ve Agnessa çeşitlerinde en yüksek polar şeker verimleri (sırası ile 1898 kg/da ve 1859 kg/da) çıkıştan 185 gün sonra yapılan hasatlarda, tespit edilmiştir (Tablo 7).

#### 4. Tartışma ve Sonuç

**Kök-Gövde Verimi:** Çeşitler arasında birim alanda kök-gövde verimi bakımından tespit edilen farklılıkların çeşitlerin genetik potansiyellerinden ve bölge şartlarına uyum yeteneklerinin farklı olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Nitekim çalışmada verim tipinde olan (N ve NZ tipi) çeşitlerin şeker tipinde (Z tipi) olanlardan daha yüksek kök-gövde verimine sahip olmaları, genetik yapının kök-gövde verimine olan etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Bulgularımız, diğer araştırmacıların bulgularıyla benzerlik göstermiş ve şeker pancarı çeşitlerinin kök-gövde verimleri arasında önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir [2, 5-7].

**Tablo 6.** Hasat zamanına bağlı olarak şeker pancarı çeşitlerinin polar şeker oranları (%)

Çeşit/ Söküm zamanı	Aranka	Esperanza	Sandrina	Esperia	Felicita	Agnessa	Begonia	Ortalama
140	17.74	17.80	18.21	18.16	19.70	18.73	17.56	18.27 d
155	17.84	18.00	18.96	18.98	20.59	19.28	18.31	18.85 c
170	18.23	18.11	19.65	19.39	21.43	21.81	18.62	19.61 b
185	18.77	18.23	20.27	19.33	22.49	23.18	19.70	20.28 a
200	19.15	18.29	20.48	18.52	21.58	21.25	19.32	19.80 b
<b>Ortalama</b>	18.35 e	18.09 f	19.51 c	18.87 d	21.16 a	20.85 b	18.70 d	

Lsd ç x s :0.57

**Tablo 7.** Farklı zamanlarda hasat edilen şeker pancarları çeşitlerinin dekara polar şeker verimleri (kg)

Çeşit/ Söküm zamanı	Aranka	Esperanza	Sandrina	Esperia	Felicita	Agnessa	Begonia	Ortalama
140	1490	1355	1376	1353	1184	1149	1114	1289 d
155	1535	1459	1569	1552	1327	1332	1299	1439 c
170	1609	1627	1763	1699	1449	1693	1486	1618 b
185	1703	1729	1831	1898	1599	1859	1697	1760 a
200	1776	1757	1780	1867	1584	1731	1751	1761 a
<b>Ortalama</b>	1623 bc	1585 dc	1663 a	1674 a	1429 e	1553 d	1469 e	

Lsd ç x s :103

Hasadın gecikmesi ile birlikte daha uzun süre toprakta kalan bitkiler su ve besin maddelerinden daha fazla faydalanmakta ve buna bağlı olarak kök-gövde verimleri artmaktadır. Buna ilave olarak, vejetasyon süresinin uzaması, bitkilerin güneş enerjisinden daha fazla faydalanmalarına ve daha fazla besin maddesi depolamalarına neden olmaktadır. Farklı lokasyon ve iklim tiplerinde yapılan çalışmalarda kısa vejetasyon periyodunda yetiştirilen şeker pancarlarında kök-gövde veriminin azaldığı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir [8-11]. Son hasatlarda gerçekleşen kök-gövde verimindeki artışın düşük olması, bu hasatların yapıldığı aylarda toplam solar radyasyon miktarının azalması ve gece gündüz sıcaklık farkının artmasına bağlı olarak bitkilerin daha az günlük fotosentez yapması ile açıklanabilir. Nitekim, şeker pancarı kanopisinin ışığa tepki eğrisinin Eylül ayına kadar sabit olduğu, daha sonra ise azaldığını bildirilmiştir [12]. Bulgularımız, hasadın gecikmesi ile birlikte şeker pancarında kök veriminin arttığını ve geciken hasatta kök veriminde gerçekleşen artışın daha düşük olduğunu bildiren araştırmacıların bulguları ile uyum göstermektedir [13-16].

**$\alpha$ -Amino Azot Miktarı:** Şeker pancarı köklerinde bulunan  $\alpha$ -amino azot, şeker içeriğinde azalmaya molasigenetik faktörün neden olduğu kabul edilmektedir [17].  $\alpha$ -amino azot, şeker pancarı bitkisinde yeniden kullanılmak üzere biriktirilen azotun organik bir formu olup [18], kök-gövdede  $\alpha$ -amino azot miktarının artması, önemli miktarda şekerin melasa bağlamasına neden olarak fabrikasyon sürecinde elde edilebilir şeker miktarını azaltmaktadır. Şeker pancarı kök-gövdesindeki kabul edilebilir  $\alpha$ -amino azot miktarının mineral topraklarda 2.14 mmol/100g, organik topraklarda ise 2.86 mmol/100g olduğu daha önceki çalışmalar ile belirlenmiştir [17]. Çalışmamızda kullanılan çeşitlerin özellikle son hasat zamanında belirtilen  $\alpha$ -amino azot değerlerine yakın olduğu, daha önce yapılan hasatlarda ise  $\alpha$ -amino azot içeriklerinin literatürde verilen değerlerden yüksek olduğu kaydedilmiştir [10,13].

Şeker pancarında,  $\alpha$ -amino azot içeriğini etkileyen faktörlerden bazıları başta azotlu gübreleme olmak üzere çeşit, iklim ile toprak şartları ve pancar olgunluğu olarak bilinmektedir [19]. Şeker pancarı çeşitlerinde  $\alpha$ -amino azot içeriği çeşitlere göre farklılık göstermektedir [20]. Farklı şeker pancarı çeşitleri kullanarak yürütülen bir çalışmada,  $\alpha$ -amino azot içeriğinin 1.72–8.50 mmol/100g arasında değiştiği bildirilmiştir [21]. Çıkıştan sonra 140. güne tekabül eden Eylül ayının ilk haftalarında iklim koşullarına da bağlı olarak, şeker pancarında bitki gelişimi daha hızlı olmaktadır. Bu durum bitkilerin bu dönemde başta azot olmak üzere topraktan kaldırdıkları besin maddelerinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Çalışmada erken hasatlarda  $\alpha$ -amino azot içeriğinin çok yüksek olması bahsedilen dönemde sıcaklığın da etkisi ile (yüksek

fotosentez hızına bağlı olarak) yüksek metabolik aktiviteye sahip olan pancar bitkilerinin topraktan azot alınımına devam etmesi ile açıklanabilir. Vejetasyon döneminin uzaması ile birlikte toprak kullanılabilir azot miktarının azaldığı, bitkinin ihtiyaç duyduğu azotun ise büyük ölçüde depoladığı  $\alpha$ -amino azot ile karşılandığı düşünülmektedir. Konu ile ilgili olarak, şeker pancarında Ekim ayında yapılan hasatlarda Eylül ayına göre  $\alpha$ -amino azot içeriğinin %18.6 oranında azaldığını bazı araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir [22].

**Polar Şeker Oranı:** Çalışmada kullanılan çeşitlerden Z tipindeki çeşitlerin daha yüksek polar şeker oranına sahip olması, şeker içeriğinin önemli bir kalıtsal özellik olduğunu göstermektedir. Farklı lokasyonlarda, değişik pancar çeşitleri ile yapılan araştırmalarda çeşitlerin şeker içeriklerinin önemli varyasyonlar gösterdiği birçok araştırmacı tarafından da bildirilmiştir [23-27].

Pancar kök-gövdesindeki şeker konsantrasyonu çeşide, bitki sıklığına, iklim ve toprak koşullarına, gübrelemeye, vejetasyon süresine, hasat zamanı ile hastalık ve zararlı popülasyonuna bağlı olarak önemli değişiklikler göstermektedir [27]. Gece-gündüz arasındaki sıcaklık farkının artması ve daha uzun vejetasyon koşulları polar şeker oranını artırıcı etkide bulunmaktadır. Çalışmamızda da gece sıcaklıklarının azalmaya başladığı Ekim-Kasım aylarına denk gelen hasat zamanlarında (170-185. günler) polar şeker oranı değerleri artış göstermiştir. Bununla birlikte, son hasat zamanı olan 200. günde bazı çeşitlerde polar şeker oranında belirlenen azalmanın bu dönemde bahsedilen çeşitlerin yaprak miktarlarının %60'dan fazla azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yaprak miktarı azalan pancarlarda solunum (respirasyon) için gerekli enerjinin fotosentez ile karşılanmadığı ve kök-gövdede depo edilen şekerlerin yıkımı başladığından polar şeker oranının azaldığı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda, birçok araştırmacı hasat zamanının gecikmesi ile birlikte polar şeker oranının arttığını bildirilmiştir [28-31]. Buna ilave olarak, geç yapılan ve buna bağlı olarak da kısa vejetasyon periyodunda yetişen şeker pancarlarında, polar şeker oranı ile beyaz şeker oranı ve veriminin azaldığı birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir [32-35].

**Dekara Polar Şeker Verimi:** Araştırmada çeşitlerin polar şeker verimleri kök-gövde verimleri ile polar şeker oranları kullanılarak hesaplanmıştır. Çeşitlerin hasat zamanlarına da bağlı olarak polar şeker verimlerinde tespit edilen farklılıklar, kök-gövde verimleri ile polar şeker oranlarında belirlenen farklılıklarla paralellik göstermiştir. Bu nedenle, hem kök-gövde verimi hem de polar şeker oranı yüksek olan çeşitlerde polar şeker verimleri de yüksek olarak tespit edilmiştir. Çalışmada Esperia, Felicita ve Agnessa çeşitlerinde polar şeker oranlarının 185. günden sonra önemli derecede azalması (Tablo 7),

bu çeşitlerde polar şeker verimlerinin de azalmasına neden olmuştur. Bulgularımıza benzer olarak, şeker pancarında hasadın Kasım sonuna kadar geciktirilmesinin kök-gövde ve şeker verimi ile şeker oranını azalttığı Brown [36] tarafından bildirilmiştir.

Sonuç olarak; Şeker pancarı hasat zamanının belirlenmesinde kullanılan çeşidin büyük önem taşıdığı ve çeşitlerin şeker verimleri dikkate alınarak hasat zamanlarının belirlenmesi gerektiği anlaşılmıştır. Isparta koşullarında yapılacak üretimlerde Aranka ve Begonia çeşitlerinin 200 gün, diğer çeşitlerin ise 185 günlük vejetasyon süresini doldurmaları gerektiği sonucuna varılmıştır. Eylül başı sökümünde Aranka, Ekim başı sökümünde Sandrina ve Esperia çeşitleri ön plana çıkmıştır. Buna göre erken söküm yapılacak bölgelere Aranka ve Sandrina, geç söküm yapılacak bölgelere ise Esperia ve Sanrinda çeşitlerinin önerilmesinin yerinde olacağı sonucuna varılmıştır.

### Teşekkür

3397-YL1-12 No'lu proje ile Yüksek Lisans tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

### Kaynakça

- [1] Er, C., Uranbey, S., 1998. Nişasta Şeker Bitkileri. Ankara Ziraat Fakültesi Yayınları No:1504. 334s. Ankara.
- [2] Jozefyova, L., Pulkrabek, J., Urbam, J. 2004. Effect of Harvest Time on Sugar Beet Fertilised with ;Increased Nitrogen. Science and Technology. 2. 232-237.
- [3] Heidari, G., Sohrabi, Y., 2008. Influence of Withholding Irrigation and Harvest Times on Yield and Quality of Sugar Beet (*Beta vulgaris*). International Journal of Agriculture and Biology. 10(4). 427-431.
- [4] Karadoğan, T., Kurtçepe, Ş., 2005. Göller Yöresine Uygun Şeker Pancarı Çeşitlerinin Belirlenmesi. Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi. 5-9 Eylül Antalya.
- [5] Sohrabi, Y., Heidari, G., Esmailpoor, B., 2007. Influence of Harvesting Time on Yield and Yield Components of Sugar Beet. Friends Science Publishers. 2. 69-73.
- [6] Refay, Y.A., 2010. Root Yield and Quality Traits of Three Suga Beet (*Beta vulgaris* L.) Varieties in Relation to Sowing Date and Stand Densities .World Journal of Agricultural Sciences 6 (5). 589-594.
- [7] Ahmad, S., Zubair, M., Iqbal, N., Cheema, M.N., Mahmood, K., 2012. Evaluation of Sugar Beet Hybrid Varieties under Thal-Kumbi Soil Series of Pakistan. International Journal of Agriculture and Biology. 14. 4. 605-608.
- [8] Minx, L., Rikanov, J., 1987. Yeild Depression of Sugar Beet Caused by Gaps in Stands Sown on Different Dates. Rostlinna Vyroba. 33(9). 959-964.
- [9] Akçin, A., Mülayim, A., Yıldırım, B., Sade, B., Tamkoç, A., Önder, M., 1992. Şeker Pancarında (*Beta vulgaris* var *saccharifera* L.) Çeşit ve Ekim Zamanının Verim. Verim Unsurları ve Kalite Üzerine Etkileri. Doğa Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi. 16. 4. 731-743.
- [10] Durrant, M.J., Mash, S.J., Jaggard, K.W., 1993. Effects of Seed Advancement and Sowing Date on Establishment Bolting and Yield of Sugar Beet. Journal of Agricultural Science. 121. 3. 333-341.
- [11] Kerr, S., Leaman, M., 1997. To water or not. British Sugar Beet Review, 65,11-3
- [12] Glauert, W., 1983. Carbon Exchange of a Sugar Beet Crop Through a Season. University of Nottingham, Department of Crop Science, PhD Thesis, 120s.
- [13] Hull, R., H., Webb, D., J., 1970. The Effect of Sowing Date and Harvesting Date on the Yield of Sugar Beet. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 75, 223-229.
- [14] Scott, R.K., English, S.D., Wood, D., W., Unsworth, M. H., 1973. The Yield of Sugar Beet in Relation to Weather and Length of Growing Season. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 81, 339-347.
- [15] O' Connor, L.J., 1981. Factors Affecting Yield and Quality of Sugar Beet in Ireland. National University of Ireland, Department of Crop Science, Phd Thesis, 200p, Dublin.
- [16] O' Donovan, T.M., 2002. The Effects of Seed Treatment, Sowing Date Cultivar and Harvest Date on the Yield and Quality of Sugar Beet. National University of Ireland, M. Sc. Thesis, 140p. Dublin.
- [17] Harvey, C.W. and J.V. Dutton, 1993. Root quality and processing. The Sugar Beet Crop. Chapman and Hall, 675 p. London.
- [18] Pocock, T., Milford, G.F.J., Armstrong, M., 1988. Progress in Research Toward Site Specific Fertiliser Requirements. British Sugar Beet Review, 56,41-44.
- [19] Kováč, K., 1998, The Effect of Different Soil Cultivation and Fertilization on Yield, Quality and Uptake of Nutrients in Sugar Beet Rostlinna Vyroba, 44, 59-64.
- [20] Jozefyova, L., Pulkrabek, J., Urban, J., 2003. The Influence of Harvest Date and Crop Treatment on The Production of Two Different Sugar Beet

- Variety Types, Plant, Soil and Environment, 49(11), 495-498.
- [21] Hozayn, M., Abd El-Monem A.A., Bakery A.A., 2013. Screening of Some Exotic Sugar Beet Cultivars Grown under Newlyre Claimed Sandy Soil for Yield and Sugar Quality Traits. Journal of Applied Sciences Research, 9(3), 2213-2222.
- [22] Jozefyova, L., Pulkrabek, J., Urbam, J., 2004. Effect of Harvest Time on Sugar Beet Fertilised with ;Increased Nitrogen. Science and Technology, 2, 232-237.
- [23] Jama, M., Bahadar, K., 1988. Varietal Performance of Sugar Beet in Bannu Area of NWFP J. Pure Applied Science, 7: 7-8.
- [24] Oad, F.C., Hameed, A., Ansari, B.K., Solangi, M.U., Khail, G.N., Oad, N.L., 2001. Performance Evaluation of Exotic Sugar Beet under Selected Agro-Climatic Conditions of Sindh Province. Internal Journal Agriculture Biology, 4, 472-474.
- [25] Khan, D., Khan, I., Khan, P., Rehman, G., 2004. Sugar Beet Cultivation in The Southern Parts of NWFP. Pakistan Sugar Journal, 19, 19-24.
- [26] Ebrahimian, H.R., Sadegheian, S.Y., Jahadkbar, M.R., Abbasi, Z., 2009. Study of Daptability and Stability of Sugar Beet Monogerm Cultivars in Different Locations of Iran. Journal Sugar Beet, 24, 1-13
- [27] Johnson, R., T., Alexander, J., T., Rush, G., E., Hawkes, G., R., 1971. Advances in Sugar Beet Production Principles and Practices (23-53). Çev. Bilgin, T., Erel, K., Onat, G. Türkiye Şeker Fabrikaları Yayınları, 479s, Ankara.
- [28] Akinerdem, F., Sade, B., Acar, R., Soylu, S., 1996. Konya Şartlarında Şeker Pancarının (*Beta vulgaris* L.) Hasat Zamanının Belirlenmesi. Tübitak-Doğa Dergisi, 20, 139-143.
- [29] Çakmakçı, R., Tıngır, N., 2001. Vejetasyon Periyodunun Uzunluğunun Şeker Pancarının Gelişim Verim ve Kalite Üzerine Etkisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 32(1), 41-49.
- [30] Heidari, G., Sohrabi, Y., 2008. Influence of Withholding Irrigation and Harvest Times on Yield and Quality of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). International Journal of Agriculture and Biology, 10(4), 427-431.
- [31] Ada, R., 2010. Farklı Zamanlarda ve Tekniklerde Hasat Edilen Şeker Pancarında (*Beta vulgaris saccharifera* L.) Silolama Süresinin Verim ve Kalite Üzerine Etkisi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 108s, Konya.
- [32] Smit, A.L., 1993. The Influence of Sowing Date and Plant Density on The Decision to Resow Sugar Beet. Field Crops Research, 34, 159-173.
- [33] Wärländer, B., 1992. Hoher Ertrag und hohe Qualität—ein Widerspruch beim Anbau von Zuckerrüben?. Zuckerindustrie, 117(11), pp.908-912.
- [34] Lauer, J.G., 1997. Sugar beet performance and interactions with planting date, genotype, and harvest date. Agronomy journal, 89(3), pp.469-475.
- [35] Sögüt, T. and Aroglu, H., 2004. Plant density and sowing date effects on sugar beet yield and quality. Journal of Agron, 3(3), pp.215-218.
- [36] Brown, S., 1997. Quality Harvesting Program. British Sugar Beet Review, 65, 12-3.



## A New Record and New Localities for the Genus *Sclerogaster* R.Hesse in Turkey

Yasin UZUN<sup>1</sup>, Abdullah KAYA\*<sup>2</sup>, Semiha YAKAR<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Karamanoğlu Mehmetbey University, Kâmil Özdağ Science Faculty, Department of Biology, 70100, Karaman

<sup>1</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6423-6085>)

<sup>2</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4654-1406>)

<sup>3</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7686-7055>)

(Alınış / Received: 02.06.2018, Kabul / Accepted: 28.11.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 03.03.2019)

### Keywords

Hypogeous fungi,  
Macrofungi,  
New record,  
*Sclerogaster candidus*,  
*Sclerogaster compactus*

**Abstract:** This paper aims to make a contribution to the mycobiota of Turkey and based on two hypogeous species belonging to the order Boletales, *Sclerogaster candidus* (Tul. & C.Tul.) Zeller & C.W.Dodge and *Sclerogaster compactus* (Tul. & C. Tul.) Sacc. The first taxon is reported as new record for the macromycota of Turkey from Tonya district of Trabzon province. New localities from İstanbul (Beykoz, Çekmeköy and Şile) province were given for the second one. A brief description of *Sclerogaster candidus*, including its ecologic, macroscopic and microscopic characters, and the original photographs of both taxa related to their macro and micromorphologies and the collection localities were provided.

## Türkiye'deki *Sclerogaster* R.Hesse Cinsi için Yeni Bir Kayıt ve Yeni Lokaliteler

### Anahtar Kelimeler

Toprak altı mantarlar,  
Makromantarlar,  
Yeni kayıt,  
*Sclerogaster candidus*,  
*Sclerogaster compactus*

**Özet:** Bu makale Türkiye mikobiyotasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır ve Boletales takımına ait iki toprak altı tür, *Sclerogaster candidus* (Tul. & C.Tul.) Zeller & C.W.Dodge ve *Sclerogaster compactus* (Tul. & C. Tul.) Sacc., üzerinde gerçekleştirilmiştir. Birinci takson Trabzon'un Tonya ilçesinden Türkiye makromikotası için yeni kayıt olarak rapor edilmiştir. İkinci takson için ise İstanbul (Beykoz, Çekmeköy ve Şile)'dan yeni lokaliteler verilmiştir. *Sclerogaster candidus*'un ekolojik, makroskobik ve mikroskobik özelliklerini içeren kısa betimlemesi, ve her iki taksonun da makro ve mikromorfolojilerine ilişkin orijinal fotoğrafları ve toplanma lokaliteleri verilmiştir.

### 1. Introduction

*Sclerogaster* R.Hesse is the only genus of the family Sclerogasteraceae. The genus contain 10 confirmed species [1] which are mainly characterized by globose to irregular fruit bodies, white to pale yellowish brown peridia, pale yellow to deep yellow, yellow-brown or brown gleba, globose spores [2].

On field surveys in Trabzon and İstanbul provinces in the years 2017 and 2018, some hypogeous macrofungi samples were collected. As a result of field and laboratory studies, they were identified as *Sclerogaster candidus* (Tul. & C.Tul.) Zeller & C.W.Dodge and *Sclerogaster compactus* (Tul. & C.Tul.) Sacc.

According to the available literature, two members of the genus, *S. compactus* and *S. hysterangioides* (Tul. & C.Tul.) Zeller & C.W.Dodge, have been reported from Turkey [3]. A careful trace of the current checklists [4, 5] and the studies published after the preparation of these checklists [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]

show that, *S. candidus* has not been reported from Turkey before.

The study aims to contribute to the mycobiota of Turkey.

### 2. Material and Method

*Sclerogaster* samples were collected from Tonya district of Trabzon province and Beykoz, Çekmeköy and Şile districts of İstanbul province in 2017 and 2018. Ecological and morphological characteristics of the samples were recorded and they were photographed in their natural habitats. Then the samples were brought to the fungarium, dried in and air conditioned room and then kept in polyethylene bags as fungarium materials. Micromorphological investigations were carried out under a Nikon eclipse Ci trinocular light microscope and a DS-Fi2 digital camera and a Nikon DS-L3 displaying apparatus were used for microstructural photographing. Identification were performed with the help of Zeller and Dodge [16, 17], Lebel and Trappe [18], Lebel and Castellano [19], Vidal [20], Calonge and Pasaban [21],

\*Corresponding author: [kayaabd@hotmail.com](mailto:kayaabd@hotmail.com)

Lebel and Tonkin [22]. The samples are kept at Karamanoğlu Mehmetbey University, Kâmil Özdağ Science Faculty, Department of Biology.

### 3. Results

Sytematic of the taxa is in accordance with speciesfungorum.org (accessed on 15 May 2018).

*Basidiomycota* R.T. Moore

*Agaricomycetes* Doweld

*Boletales* E.-J. Gilbert

*Sclerogastraceae* Locq.

*Sclerogaster* R. Hesse

*Sclerogaster candidus* (Tul. & C.Tul.) Zeller & C.W.Dodge (Figure 1)

**Syn:** [*Hydnangium candidum* Tul. & C.Tul., *Macowanites candidus* (Tul. & C.Tul.) J.M. Vidal, *Octaviania candida* (Tul. & C.Tul.) Lloyd]

**Macroscopic and microscopic features:** Fruit body about 30 mm in diameter, angiocarpic, globose to subglobose when young, becomes somewhat hemiangiocarpic when mature by slightly opening at lower side. Surface smooth, pure white to yellowish

white, peridium thin and seperable from the gleba, disintegrate at perimarginal zone, leaving the gleba uncovered around the stipe. Gleba loculate, labyrinthiform or sublamelliform, white to, light yellowish. Odour and taste mild. Stipe rudimentary and distinct in age, about 10 × 4 mm, generally central, concolorous with the peridium. Basidia 30-40 × 14-18 µm, clavate, hyaline, with 2-4 slender to robust sterigmata of 4-6 µm long. Basidioles claviform, slightly smaller than basidia. Macrocytidia cylindrical, lanceolate to fusiform, acute or mucronate. Basidiospores 8.5-14 × 6.5-11 µm, subglobose to broadly elliptical, covered with 1.5-2 µm long, cylindrical and amyloid warts.

**Ecology:** Solitary or gregarious, epigeous or semihypogeous, on rich humus of deciduous woods, preferably of *Carpinus* L., but also of *Betula* L., *Corylus* L., *Fagus* L., *Populus* L., *Quercus* L., *Tilia* L., mixed with *Acer* L., *Fraxinus* L., *Sambucus* L., *Ulmus* L., on calcareous soil, from summer to autumn [20, 21].

**Specimen examined:** Trabzon, Tonya, Karasu village, *Fagus orientalis* Lipsky-*Castanea sativa* Mill.-*Quercus* sp. mixed forest, under soil, 40°57'N-39°18'E, 740 m, 22.06.2017, Yuzun 5625.



**Figure 1.** Basidiocarps (a), basidia (b) and basidiospores (c) of *Sclerogaster candidus*

***Sclerogaster compactus*** (Tul. & C. Tul.) Sacc. (Figure 2)

**Syn:** [*Octaviania compacta* Tul. & C.Tul., *Octaviania compacta* Masee, *Octavianina compacta* (Tul. & C.Tul.) Kuntze, *Sclerogaster broomeanus* Zeller & C.W.Dodge]

**Specimen examined:** İstanbul, Beykoz, Polonezköy Nature Park, pine forest, under dead pine needles, 41°06'N-29°11'E, 200 m, 05.03.2018, Yuzun 6281; Çekmeköy, Reşadiye village, pine-beech mixed forest, 41°05'N-29°15'E, 145 m, 05.03.2018, Yuzun 6283; Şile, Ahmetli village, pine forest, 41°08'N-29°34'E, 125 m, 07.03.2018, Yuzun 6295.

#### 4. Discussion and Conclusion

*Sclerogaster candidus* produces a basidioma similar in size and color to *Russula mattirolana* (Cavara) T.Label and *Macowanites galileensis* M.M.Moser, Binyam. & Aviz.-Hersh. *R. mattirolana* differs from *S. candidus* with its ecology, under *Abies* Mill. and *Picea*

D.Don ex Loudon, and larger and more globose spores, while *M. galileensis* differs with its globose, sub-contracted spores [21].

Currently 14 hypogeous members of the order Boletales within the families Boletaceae, Paxillaceae, Rhizopogonaceae and Sclerogastraceae, and the genera *Octaviania* Vittad., *Alpova* C.W.Dodge, *Melanogaster* Corda, *Rhizopogon* Fr. and *Sclerogaster* R.Hesse, exist in Turkey [3, 10, 22, 23, 24, 25, 26, 27]. With this study *S. candidus* was added to the mycobiota of Turkey as the third and the fifteenth member of the genus *Sclerogaster* and the hypogeous Boletales, respectively. New localities were also presented for an existing member, *S. compactus*, of the genus.

#### Acknowledgment

The authors would like to thank Ömer UZUN for his kind help during field study and Karamanoğlu Mehmetbey University Research Fund for supporting the Project (02-M-15) financially.



**Figure 2.** Basidiocarps (a, b) and basidiospores (c) of *Sclerogaster compactus*

#### References

- [1] Kirk, P.M., Cannon, P.F., Minter, D.W., Stalpers, J.A. 2008. Dictionary of the Fungi, 10th ed. CAB International, Wallingford.
- [2] Trappe, J.M., Molina, R., Luoma, D.L., Cázares, E., Pilz, D., Smith, J.E., Castellano, M.A., Miller, S.L., Trappe, M.J. 2009. Diversity, Ecology, and Conservation of Truffle Fungi in Forests of the Pacific Northwest, United States Department of Agriculture, Portland, Oregon, USA.
- [3] Elliot, T.F., Türkoğlu, A., Trappe, J.M., Yaratankul Güngör, M. 2016. Turkish truffles 2: eight new records from Anatolia. Mycotaxon, 131(2), 439-453.
- [4] Sesli, E., Denchev, C.M. 2014. Checklists of the myxomycetes, larger ascomycetes, and larger basidiomycetes in Turkey. 6th edn. Mycotaxon Checklists Online. (<http://www.mycotaxon.com/resources/checklists/sesli-v106-checklist.pdf>), 1-136.
- [5] Solak, M.H., Işiloğlu, M., Kalmış, E., Allı, H. 2015. Macrofungi of Turkey Checklist Volume-II. Üniversiteler Ofset, Bornova-İzmir.
- [6] Çolak, Ö.F., Kaygusuz, O., Battistin, E. 2017. *Paralepistopsis amoenolens*: First Record of A

- Rare and Poisonous Taxon in Turkey. Turkish Journal of Life Sciences, 2(2), 175-179.
- [7] Demirel, K., Uzun, Y., Keleş, A., Akçay, M.E., Acar, İ. 2017. Macrofungi of Karagöl–Sahara National Park (Şavşat-Artvin/Turkey). Biological Diversity and Conservation, 1082), 32-40.
- [8] Işık, H., Türkekul, İ. 2017. A new record for Turkish mycota from Akdağmadeni (Yozgat) province: *Russula decolorans* (Fr.) Fr. Anatolian Journal of Botany, 1(1), 1-3.
- [9] Öztürk, C., Pamukçu, D., Aktaş, S. 2017. Macrofungi of Nallıhan (Ankara) District. The Journal of Fungus, 8(1), 60-67.
- [10] Türkekul, İ. 2017. New *Calbovista*, *Mycena*, *Rhizopogon*, *Stictis*, and *Symphyosirinia* records from Turkey. Mycotaxon, 132(3), 503-512.
- [11] Uzun, Y., Demirel, K. 2017. A New *Mycena* Record for the Mycobiota of Turkey. Anatolian Journal of Botany, 1(1), 9-11.
- [12] Alkan, S., Aktaş, S., Kaşık, G. 2018. *Tuber* Species in Turkey and A New Locality for *Tuber aestivum*. Selçuk University Journal of Science Faculty, 44(1), 25-29.
- [13] Sadullahoğlu, C., Demirel, K. 2018. *Flammulina fennae* Bas, A new record from Karz Mountain (Bitlis). Anatolian Journal of Botany, 2(1), 19-21.
- [14] Sesli, E., Antonin, V., Contu, M. 2018. A new species of *Hygrophorus*, *H. yadigarii* sp. nov. (Hygrophoraceae), with an isolated systematic position within the genus from the Colchic part of Turkey. Turkish Journal of Botany, 42(2), 224-232.
- [15] Uzun, Y., Acar, İ. 2018. A new *Inocybe* (Fr.) Fr. record for Turkish macrofungi. Anatolian Journal of Botany, 2(1), 10-12.
- [16] Zeller, S.M., Dodge, C.W. 1919. *Arcangeliella*, *Gymnomyces*, and *Macowanites* in North America. Annals of the Missouri Botanical Garden, 6, 49-59.
- [17] Zeller, S.M., Dodge, C.W. 1936. *Elasmomyces*, *Arcangeliella*, and *Macowanites*. Annals of the Missouri Botanical Garden, 23, 599-638.
- [18] Lebel, T., Trappe, J.M. 2000. Type Studies of Sequestrate Russulales. I. Generic Type Species. Mycologia, 92(6), 1188-1205.
- [19] Lebel, T., Castellano, M.A. 2002. Type studies of sequestrate Russulales II. Australian and New Zealand species related to *Russula*. Mycologia, 94(2), 327-354.
- [20] Vidal, J.M. 2004. *Macowanites candidus*, A New Combination for *Hydnangium candidum* Tul. et C.Tul. Revista Catalana de Micologia, 26, 83-96.
- [21] Calonge, F.D., Pasabán P.M. 2005. *Macowanites candidus* (Russulales), new for the Spanish mycological catalogue. Boletín de la Sociedad Micológica de Madrid, 29, 87-90.
- [22] Lebel, T., Tonkin, J.E. 2007. Australasian species of *Macowanites* are sequestrate species of *Russula* (Russulaceae, Basidiomycota). Australian Systematic Botany, 20, 355-381.
- [23] Kaşık, G., Öztürk, C., Doğan, H.H. 2000. Macrofungi of Ermenek (Karaman) District. Selçuk University Journal of Science Faculty, 1, 61-65.
- [24] Sesli, E., Castellano, M.A. 2009. *Rhizopogon marchii* (Basidiomycota, Rhizopogonaceae), a new record from Turkey. The Herb Journal of Sytematic Botany, 16(1), 155-158.
- [25] Türkoğlu, A., Castellano, M.A., Trappe, J.M., Güngör Yaratankul, M. 2015. Turkish truffles I: 18 new records for Turkey, Turkish Journal of Botany, 39(2), 359-376.
- [26] Uzun, Y., Acar, İ., Akata, A. 2014. Notes on Turkish *Melanogaster*. The Herb Journal of Sytematic Botany, 21(2), 113-118.
- [27] Yağız, D., Afyon, A., Konuk, M., Helfer, S. 2006. Contributions to the macrofungi of Bolu and Düzce Provinces, Turkey. Mycotaxon, 95, 331-334.

## Sulu Ortamda *N*-Heterosiklik Karben/Palladyum Katalizli Suzuki-Miyaura Çapraz-Eşleşme Tepkimeleri

Murat KALOĞLU

İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 44280, Malatya  
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2770-5532>)

(Alınış / Received: 03.07.2018, Kabul / Accepted: 28.01.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 03.03.2019)

### Anahtar Kelimeler

*N*-Heterosiklik karben,  
Palladyum,  
Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşmesi,  
*in situ* oluşturulmuş katalizör

**Özet:** Bu çalışmada, *N*-heterosiklik karben (NHC) ligandı olarak bir seri eter-fonksiyonize benzimidazolium tuzu sentezlendi ve yapıları <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR, FT-IR ve element analizi yöntemleri ile karakterize edildi. NHC ligandları ile Pd(OAc)<sub>2</sub>'in etkileşiminden *in situ* oluşturulan [PdX<sub>2</sub>(NHC)<sub>2</sub>] kompleksleri, sulu ortamda ve ılımlı koşullar altında fenilboronik asit ve aril klorürlerin Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşme tepkimelerinde katalizör olarak kullanıldı. *In situ* oluşturulan [PdX<sub>2</sub>(NHC)<sub>2</sub>] katalizörleri, elektron verici, elektron çekici veya sterik engelli aril klorürler için yüksek katalitik aktivite gösterdi.

## *N*-Heterocyclic Carbene/Palladium-Catalyzed Suzuki-Miyaura Cross-Coupling Reactions in Aqueous Medium

### Keywords

*N*-Heterocyclic carbene,  
Palladium,  
Suzuki-Miyaura cross-coupling,  
*in situ* formed catalyst

**Abstract:** In this study, a series of ether-functionalized benzimidazolium salts as *N*-heterocyclic carbene (NHC) ligands were synthesized and their structures characterized by <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR, FT-IR, and elemental analysis techniques. The *in situ* formed [PdX<sub>2</sub>(NHC)<sub>2</sub>] complexes from the interaction of Pd(OAc)<sub>2</sub> with NHC ligands were used as catalyst in the Suzuki-Miyaura cross-coupling reactions between phenylboronic acid and aryl chlorides under mild reaction conditions in aqueous media. *In situ* formed [PdX<sub>2</sub>(NHC)<sub>2</sub>] catalysts showed high catalytic activity for electron-donating, electron-drawing or sterically hindered aryl chlorides.

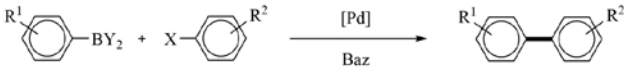
### 1. Giriş

Biariller doğal ürünlerin ve biyolojik olarak aktif çoğu organik bileşiğin yapı taşı oluşturmaktadır. Biyolojik ve fiziksel özelliklerinden dolayı, biarillerin hazırlanması organik sentezde önemli bir araştırma alanıdır [1,2]. Geçiş metal-katalizli çapraz-eşleşme tepkimeleri biaril bileşiklerinin hazırlanması için hem akademik hem de endüstriyel alanda geleneksel organik sentez yöntemlerine bir alternatif sunmaktadır [3-7]. Organik sentezdeki öneminden dolayı geçiş metal-katalizli çapraz-eşleşme tepkimeleri son yıllarda yoğun bir ilgi görmektedir ve bunun bir sonucu olarak 2010 yılı Nobel Kimya Ödülü, geçiş-metal katalizli çapraz-eşleşme tepkimeleri alanında yapmış oldukları başarılı çalışmalarından dolayı Richard F. Heck, Ei-ichi Negishi ve Akira Suzuki'ye verilmiştir [8].

Arilboron türevlerinin aril halojenürler veya aril triflatlar ile palladyum katalizörlüğündeki Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşmesi, kuşkusuz geçiş metal-katalizli çapraz-eşleşme tepkimeleri arasında biaril türevinin hazırlanması için en etkili ve en önemli yöntemlerden biridir (Şekil 1) [9,10]. Bu yöntemin diğer metal katalizli çapraz-eşleşme tepkimelerine kıyasla avantajlarından biri aril boron türevlerinin toksik olmayan, termal olarak havaya ve neme karşı kararlı bileşikler olmasıdır. Bir diğer avantajı ise, tepkimelerin ılımlı koşullar altında gerçekleştirilebilmesi ve eşleşme ortağı olarak yapı çeşitliliğine sahip ve kolay temin edilebilen aril halojenürlerin veya aril triflatların kullanılmasıdır [11].

Son zamanlarda, Suzuki-Miyaura tepkimeleri üzerinde yapılan çalışmaların çoğu çevreye karşı daha duyarlı ve atom ekonomisi sunan süreçlerin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır [12-14]. Bu

çalışmalar arasında katalizör yüklemesinin azaltılması, katalitik aktiviteye yardımcı katkı maddelerinin kullanımı, katalizörün modifikasyonu ve çözücü sisteminin değiştirilmesi gibi uygulamalar en çok ilgi gören çalışmalardandır. Suyun doğada bol miktarda bulunması, ucuz olması, toksik olmaması ve organik bileşiklerden kolayca ayrılabilmesi gibi özelliklerinden dolayı kimyasal tepkimeler için çözücü olarak suyun kullanımı, sadece yeşil kimya ilkeleri açısından değil, aynı zamanda kimya endüstrisi için de oldukça önemlidir [15,16]. Bununla birlikte, çözücü olarak suyun kullanıldığı Suzuki-Miyaura tepkimeleri de günümüzde yoğun bir ilgi görmektedir [17-21].



Y = OH, alkil X = Cl, Br, I, OTf

**Şekil 1.** Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşme tepkimesi.

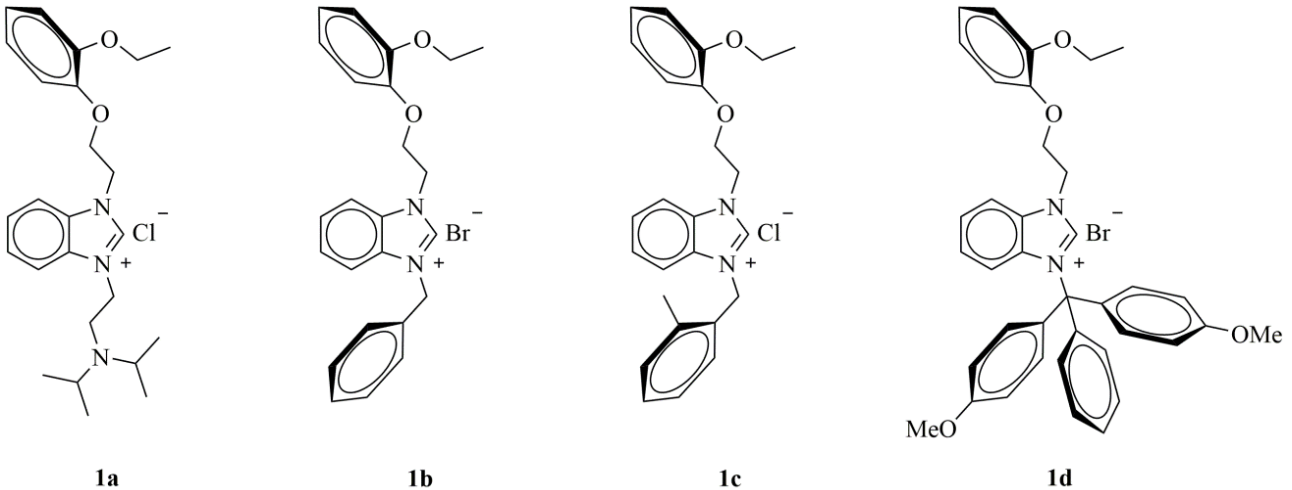
Katalizörün modifikasyonu hem katalitik aktivite hem de verimlilik açısından en önemli işlemlerden biridir. Katalizör modifikasyonu genellikle ligandın sterik, elektronik ve kimyasal özelliğinin değiştirilmesi ile kolaylıkla yapılabilir [22]. Bu açıdan bakıldığında, *N*-heterosiklik karben (NHC) ligandları azot atomu üzerindeki süstitüentlerin değiştirilmesi ile sterik, elektronik ve kimyasal açıdan en uygun katalizörün hazırlanmasına imkan veren etkili ligandlardır. NHC'ler güçlü  $\sigma$ -donör ve zayıf  $\pi$ -akseptör özelliği sayesinde, koordine olduğu metal ile güçlü bir etkileşime girerek metal merkezinden kolaylıkla dissosiyasyon olmazlar. Bu özellikleri nedeniyle, NHC ligandları ve bu ligandların geçiş-metal kompleksleri uzun süredir Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşme tepkimelerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [23-25].

NHC ligandlarının bahsedilen bu özelliklerinden ve son zamanlarda Suzuki-Miyaura tepkimelerinde yoğun bir ilgi görmelerinden dolayı bu çalışmada, NHC ligandı olarak eter-fonksiyonalize bir seri yeni

benzimidazolyum tuzu (**1a-d**) sentezlendi (Şekil 2). Sentezlenen tüm NHC ligandlarının yapıları  $^1\text{H}$  NMR,  $^{13}\text{C}$  NMR, FT-IR spektroskopisi ve element analizi yöntemleriyle karakterize edildi. NHC ligandlarının palladyum komplekslerini sentezlemek amacıyla, NHC ligandları  $\text{Pd}(\text{OAc})_2$  ile etkileştirilmesine rağmen izole palladyum-NHC kompleksleri elde edilemedi. Bu nedenle palladyum-NHC kompleksleri, literatürde de yaygın olarak kullanılan *in situ* koşullarda hazırlandı [23-25]. Sulu ortamda, NHC ligandlarının  $\text{Pd}(\text{OAc})_2$  ile *in situ* koşullarda etkileştirilmesi ile oluşturulan katalizörlerin fenilboronik asit ile elektronik ve sterik olarak farklı özelliklere sahip aril klorürler arasındaki Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşme tepkimelerindeki katalitik özellikleri incelendi.

## 2. Materyal ve Metot

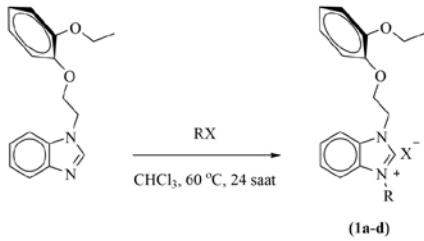
Gerçekleştirilen tüm sentez çalışmaları argon gazı altında standart Schlenk tekniği kullanılarak yapıldı. FT-IR ölçümleri, Perkin Elmer Spektrum 100 spektrofotometresinde ATR ünitesi üzerinde  $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$  aralığında alındı. NMR ölçümleri, Bruker UltraShield 300 MHz NMR spektrometresinde gerçekleştirildi. NMR ölçümlerinde çözücü olarak  $\text{CDCl}_3$ , iç standart olarak TMS kullanıldı. Bileşiklerin kimyasal kayma değerleri ( $\delta$ ), ppm olarak, eşleşme sabitleri ( $J$ ) Hertz olarak verildi.  $^1\text{H}$  NMR sinyal yarımları, s = singlet, d = dublet, t = triplet, q = kvartet, m = multipl olarak kısaltıldı. NMR ölçümleri ve element analizleri İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde (İBTAM) gerçekleştirildi. Gaz kromatografisi analizleri, Agilent 6890N Network GC System gaz kromatografisi cihazında, kolon uzunluğu 30 m, kolon çapı 0,32 mm, kolon dolgu büyüklüğü  $0,25\ \mu\text{m}$  ve sıcaklık aralığı  $50\text{ }^\circ\text{C}$ 'den  $300\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar olan HP-5 kolonu yapıldı. GC-MS analizleri ise, Shimadzu GC-MS QP-2010 Plus kütle spektrometresi-gaz kromatografisi cihazında HP-5 kolonu kullanılarak GC-FID dedektörü yardımıyla gerçekleştirildi.



**Şekil 2.** Sentezlenen eter-fonksiyonalize benzimidazolyum tuzları (**1a-d**).

## 2.1. Eter-fonksiyonize benzimidazolyum tuzlarının (1a-d) genel sentezi

*N*-(2-(2-Etoksifenoksi)etil)benzimidazol (1,41 g, 5,0 mmol) kloroformda (10 mL) çözüldü ve üzerine alkil halojenür (5,0 mmol) ilave edildi. Çözelti 60 °C'de 24 saat karıştırıldı. Tepkime tamamlandıktan sonra çözücünün yarısı vakumda uzaklaştırıldı. Çözelti üzerine Et<sub>2</sub>O (15 mL) eklenerek oluşan tüm katı çöktürüldü. Çöken katı filtreden süzülde, Et<sub>2</sub>O (3×10 mL) ile yıkandı ve vakum altında kurutuldu. Ham ürün EtOH/Et<sub>2</sub>O karışımında (1:2, *h/h*) kristallendirilerek saflaştırıldı. Sentezlenen tüm benzimidazolyum tuzları beyaz kristal katı olarak yüksek verimler ile elde edildi. Eter-fonksiyonize benzimidazolyum tuzlarına (1a-d) ait genel sentez yöntemi Şekil 3'de gösterilmiştir.

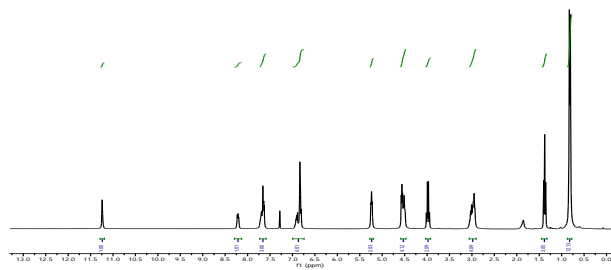


Şekil 3. Eter-fonksiyonize benzimidazolyum tuzlarının (1a-d) genel sentezi.

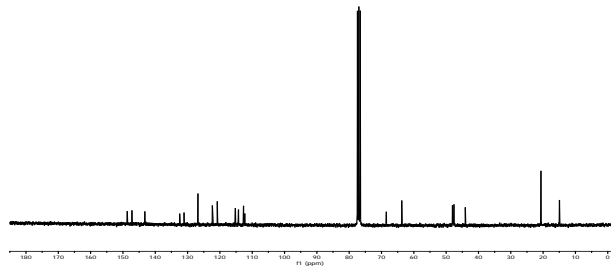
Sentezlenen benzimidazolyum tuzlarının (1a-d) yapıları <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR, FT-IR ve element analizi yöntemleri ile karakterize edilmiştir.

### 2.1.1. 1-(2-(2-Etoksifenoksi)etil)-3-(2-(*N,N*-diizopropilamino)etil)benzimidazolyum klorür, (1a)

1a Bileşiğine ait <sup>1</sup>H NMR spektrumu Şekil 4'de, <sup>13</sup>C NMR spektrumu Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 4. 1a Bileşiğine ait <sup>1</sup>H NMR spektrumu.



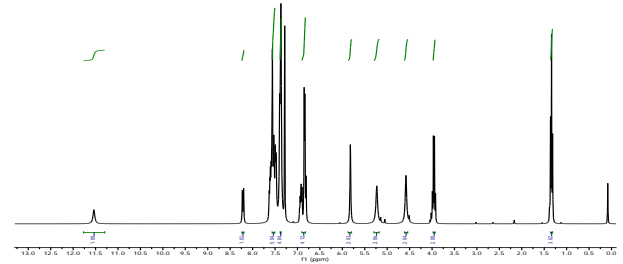
Şekil 5. 1a Bileşiğine ait <sup>13</sup>C NMR spektrumu.

1a Bileşiğine ait bazı fiziksel ve spektroskopik veriler aşağıdaki gibidir.

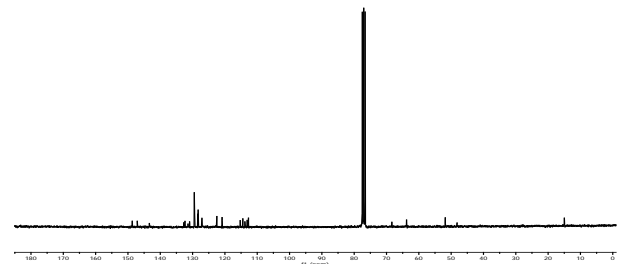
Verim: 2,051 g, %92, <sup>1</sup>H NMR (300 MHz, CDCl<sub>3</sub>, 25 °C): δ (ppm) = 0,82 (d, <sup>3</sup>J = 6,4 Hz, 12H, NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>N(CH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), 1,38 (t, <sup>3</sup>J = 7,0 Hz, 3H, NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)-2), 2,95 (t, <sup>3</sup>J = 5,2 Hz, 2H, NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>N(CH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), 3,01 (hept, <sup>3</sup>J = 6,5 Hz, 2H, NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>N(CH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), 3,98 (q, <sup>3</sup>J = 7,0 Hz, 2H, NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)-2), 4,51 (t, <sup>3</sup>J = 5,7 Hz, 2H, NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>N(CH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), 4,56 (t, <sup>3</sup>J = 4,6 Hz, 2H, NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)-2), 5,24 (t, <sup>3</sup>J = 4,3 Hz, 2H, NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)-2), 6,81-6,93 ve 7,63-7,69 (m, 7H, NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>N ve NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)-2), 8,22 (d, <sup>3</sup>J = 6,3 Hz, 1H, NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)-2), 11,24 (s, 1H, NCHN). <sup>13</sup>C NMR (75 MHz, CDCl<sub>3</sub>, 25 °C): δ (ppm) = 15,0 (NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)-2), 20,7 (NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>N(CH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), 44,1 (NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>N(CH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), 44,2 (NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>N(CH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), 47,6 (NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>N(CH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>), 48,1 (NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)-2), 63,8 (NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)-2), 68,5 (NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)-2), 112,3, 112,7, 114,3, 115,2, 120,8, 122,4, 126,8, 131,1, 132,5, 147,2, 148,7 (NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>N ve NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)-2), 143,2 (NCHN). Element analizi C<sub>25</sub>H<sub>36</sub>ClN<sub>3</sub>O<sub>2</sub> (M.A. = 446,03 g.mol<sup>-1</sup>), Hesaplanan (%): C 67,32; H 8,14; N 9,42; Bulunan (%): C 67,41; H 8,18; N 9,48.

### 2.1.2. 1-(2-(2-Etoksifenoksi)etil)-3-(benzil)benzimidazolyum bromür, (1b)

1b Bileşiğine ait <sup>1</sup>H NMR spektrumu Şekil 6'de, <sup>13</sup>C NMR spektrumu Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. 1b Bileşiğine ait <sup>1</sup>H NMR spektrumu.



Şekil 7. 1b Bileşiğine ait <sup>13</sup>C NMR spektrumu.

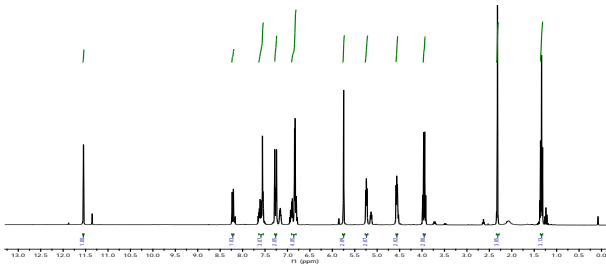
1b Bileşiğine ait bazı fiziksel ve spektroskopik veriler aşağıdaki gibidir.

Verim: 1,949 g, %86, <sup>1</sup>H NMR (300 MHz, CDCl<sub>3</sub>, 25 °C): δ (ppm) = 1,34 (t, <sup>3</sup>J = 6,8 Hz, 3H,

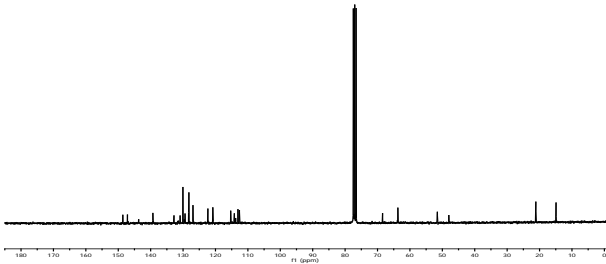
$\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ , 3,96 (q,  $^3J = 7,0$  Hz, 2H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 4,58 (t,  $^3J = 4,4$  Hz, 2H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 5,23 (t,  $^3J = 4,5$  Hz, 2H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 5,82 (s, 2H,  $\text{NCH}_2\text{C}_6\text{H}_5$ ), 6,81-6,95, 7,37-7,40 ve 7,48-7,63 (m, 12H,  $\text{NC}_6\text{H}_4\text{N}$ ,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$  ve  $\text{NCH}_2\text{C}_6\text{H}_5$ ), 8,21 (d,  $^3J = 8,1$  Hz, 1H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 11,54 (s, 1H, NCHN).  $^{13}\text{C}$  NMR (75 MHz,  $\text{CDCl}_3$ , 25 °C):  $\delta$  (ppm) = 15,0 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 48,2 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 51,8 ( $\text{NCH}_2\text{C}_6\text{H}_5$ ), 63,8 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 68,3 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 112,7, 113,1, 113,8, 115,0, 115,3, 120,9, 122,5, 127,1, 127,2, 128,3, 128,4, 129,4, 129,5, 131,0, 131,4, 132,4, 147,1, 148,7 ( $\text{NC}_6\text{H}_4\text{N}$ ,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$  ve  $\text{NCH}_2\text{C}_6\text{H}_5$ ), 143,4 (NCHN). Element analizi  $\text{C}_{24}\text{H}_{25}\text{BrN}_2\text{O}_2$  (M.A. = 453,38 g.mol $^{-1}$ ), Hesaplanan (%): C 63,58; H 5,56; N 6,18; Bulunan (%): C 63,66; H 5,62; N 6,26.

### 2.1.3. 1-(2-(2-Etoksifenoksi)etil)-3-(2-metilbenzil)benzimidazolyum klorür, (1c)

1c Bileşiğine ait  $^1\text{H}$  NMR spektrumu Şekil 8'de,  $^{13}\text{C}$  NMR spektrumu Şekil 9'de verilmiştir.



Şekil 8. 1c Bileşiğine ait  $^1\text{H}$  NMR spektrumu.



Şekil 9. 1c Bileşiğine ait  $^{13}\text{C}$  NMR spektrumu.

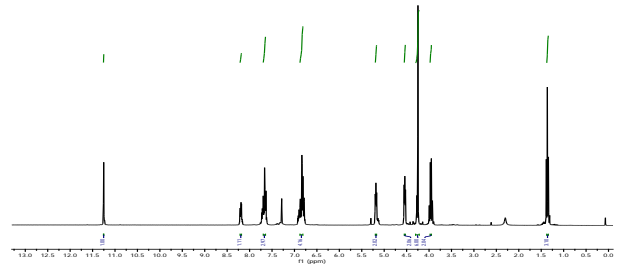
1c Bileşiğine ait bazı fiziksel ve spektroskopik veriler aşağıdaki gibidir.

Verim: 1,903 g, %90,  $^1\text{H}$  NMR (300 MHz,  $\text{CDCl}_3$ , 25 °C):  $\delta$  (ppm) = 1,34 (t,  $^3J = 7,0$  Hz, 3H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 2,32 (s, 3H,  $\text{NCH}_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)-2$ ), 3,95 (q,  $^3J = 7,0$  Hz, 2H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 4,56 (t,  $^3J = 4,4$  Hz, 2H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 5,24 (t,  $^3J = 4,7$  Hz, 2H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 5,75 (s, 2H,  $\text{NCH}_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)-2$ ), 6,78-6,95, 7,24-7,28 ve 7,54-7,64 (m, 11H,  $\text{NC}_6\text{H}_4\text{N}$ ,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$  ve  $\text{NCH}_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)-2$ ), 8,22 (d,  $^3J = 8,1$  Hz, 1H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 11,55 (s, 1H, NCHN).

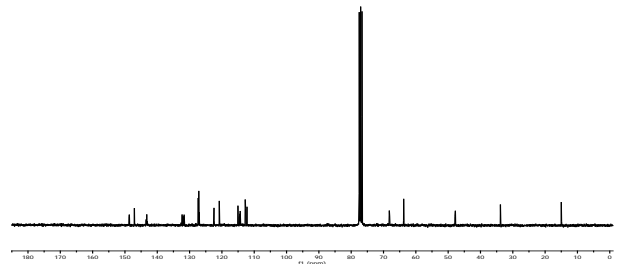
$^{13}\text{C}$  NMR (75 MHz,  $\text{CDCl}_3$ , 25 °C):  $\delta$  (ppm) = 15,0 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 21,2 ( $\text{NCH}_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)-2$ ), 48,0 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 51,6 ( $\text{NCH}_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)-2$ ), 63,8 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 68,5 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 112,6, 113,1, 114,2, 115,3, 120,8, 122,4, 127,0, 128,2, 128,3, 129,4, 130,1, 130,9, 132,8, 147,2, 148,6 ( $\text{NC}_6\text{H}_4\text{N}$ ,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$  ve  $\text{NCH}_2\text{C}_6\text{H}_5(\text{CH}_3)-2$ ), 143,7 (NCHN). Element analizi  $\text{C}_{25}\text{H}_{27}\text{ClN}_2\text{O}_2$  (M.A. = 422,95 g.mol $^{-1}$ ), Hesaplanan (%): C 70,99; H 6,43; N 6,62; Bulunan (%): C 71,07; H 6,46; N 6,67.

### 2.1.4. 1-(2-(2-Etoksifenoksi)etil)-3-(4,4'-dimetoksitritil)benzimidazolyum klorür, (1d)

1d Bileşiğine ait  $^1\text{H}$  NMR spektrumu Şekil 10'de,  $^{13}\text{C}$  NMR spektrumu Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 10. 1d Bileşiğine ait  $^1\text{H}$  NMR spektrumu.



Şekil 11. 1d Bileşiğine ait  $^{13}\text{C}$  NMR spektrumu.

1d Bileşiğine ait bazı fiziksel ve spektroskopik veriler aşağıdaki gibidir.

Verim: 2,795 g, %84,  $^1\text{H}$  NMR (300 MHz,  $\text{CDCl}_3$ , 25 °C):  $\delta$  (ppm) = 1,36 (t,  $^3J = 7,0$  Hz, 3H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 3,96 (q,  $^3J = 7,0$  Hz, 2H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 4,25 (s, 6H,  $\text{NC}((\text{C}_6\text{H}_5)((\text{C}_6\text{H}_5(\text{OCH}_3)-4)_2))$ ), 4,55 (t,  $^3J = 4,5$  Hz, 2H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 5,19 (t,  $^3J = 4,3$  Hz, 2H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 6,76-6,92 ve 7,62-7,73 (m, 20H,  $\text{NC}_6\text{H}_4\text{N}$ ,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$  ve  $\text{NC}((\text{C}_6\text{H}_5)((\text{C}_6\text{H}_5(\text{OCH}_3)-4)_2))$ ), 8,19 (d,  $^3J = 8,1$  Hz, 1H,  $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 11,25 (s, 1H, NCHN).  $^{13}\text{C}$  NMR (75 MHz,  $\text{CDCl}_3$ , 25 °C):  $\delta$  (ppm) = 15,0 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 33,8  $\text{NC}((\text{C}_6\text{H}_5)((\text{C}_6\text{H}_5(\text{OCH}_3)-4)_2))$ , 47,9 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 63,8 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 68,1  $\text{NC}((\text{C}_6\text{H}_5)((\text{C}_6\text{H}_5(\text{OCH}_3)-4)_2))$ , 68,2 ( $\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_3)-2$ ), 112,2, 112,6, 112,7, 112,8, 114,4, 114,5, 114,6, 115,0, 120,8, 122,4, 122,5, 127,0, 127,2, 127,3, 131,7, 131,8, 132,1, 132,3, 147,1, 148,6, 148,7 ( $\text{NC}_6\text{H}_4\text{N}$ ,



NCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)-2 ve NC((C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>))((C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-(OCH<sub>3</sub>)-4)<sub>2</sub>), 143,3 (NCHN). Element analizi C<sub>38</sub>H<sub>37</sub>BrN<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M.A. = 665,63 g.mol<sup>-1</sup>), Hesaplanan (%): C 68,57; H 5,60; N 4,21; Bulunan (%): C 68,70; H 5,65; N 4,28.

## 2.2. Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşme tepkimesine ait genel yöntem

Vakum altında ısıtılıp havası boşaltılan ve ardından argon gazı ile doldurulan 10 mL'lik bir Schlenk tüpüne fenilboronik asit (0,091 g, 0,75 mmol), aril klorür türevi (0,5 mmol), Pd(OAc)<sub>2</sub> (5,10<sup>-3</sup> mmol, 1 mol%), benzimidazolyum tuzu (**1a-d**) (1,10<sup>-2</sup> mmol, 2 mol%), K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (0,138 g, 1,0 mmol), dekan (iç standart olarak) (0,025 mL) ve su (3 mL)/*i*-PrOH (1 mL) karışımı eklenerek 50 °C'de, Tablo 3'de verilen sürelerde karıştırıldı. Tepkime sonunda oda sıcaklığına kadar soğutulan çözelti EtOAc/heksan (1:5, *h/h*) karışımı ile ekstrakte edildi. Organik faz ayrıldı ve susuz MgSO<sub>4</sub> üzerinde kurutuldu, mikro silikajel kolonundan geçirilen çözelti konsantre edildi. Ürün karakterizasyonları GC-MS ile yapıldı. Tepkime verimleri aril klorür esas alınarak GC ile belirlendi.

## 3. Bulgular

Eter-fonksiyonalize benzimidazolyum tuzları (**1a-d**), *N*-(2-(2-etoksifenoksi)etil)benzimidazolün farklı alkil halojenürler ile kloroform içerisinde 60 °C'de, 24 saat etkileştirilmesi ile yüksek verimlerde (%84-92) elde edildi. Sentezlenen benzimidazolyum tuzlarının karakterizasyonu <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR, FT-IR spektroskopisi ve element analizi yöntemleriyle gerçekleştirildi. Benzimidazolyum tuzlarının ait <sup>1</sup>H NMR spektrumunda asidik H(2)-protonuna (NCHN) ait karakteristik singlet pikleri δ = 11,24-11,55 ppm aralığında gözlenmiştir. Benzimidazolyum tuzlarının <sup>13</sup>C NMR spektrumunda ise C(2)-karben karbonuna (NCHN) ait sinyaller δ = 143,2-143,7 ppm aralığında gözlenmiştir. Benzimidazolyum tuzlarının FT-IR spektrumlarında imino grubuna ait C=N titreşimleri 1552-1570 cm<sup>-1</sup> aralığında sinyal vermektedir. Sentezlenen benzimidazolyum tuzlarına ait spektroskopik değerler literatürdeki diğer benzimidazolyum tuzları ile karşılaştırıldığında, elde edilen spektroskopik değerlerin literatür ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir [21]. Sentezlenen yeni benzimidazolyum tuzlarına ait bazı fiziksel ve spektroskopik veriler Tablo 1'de özetlenmiştir.

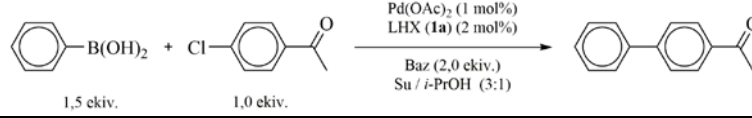
## 3.1. Aril klorürler ile Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşme tepkimeleri

Eter-fonksiyonalize benzimidazolyum tuzlarının (**1a-d**), Pd(OAc)<sub>2</sub> ile *in situ* koşullarda etkileştirilmesi ile oluşturulan katalizörlerin fenilboronik asit ve aril klorürler arasındaki Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşme tepkimesindeki katalitik özellikleri incelendi. İlk olarak tepkimeye ait optimum koşulların belirlenmesi amacıyla, Pd(OAc)<sub>2</sub> ile birlikte NHC ligandı olarak **1a** benzimidazolyum tuzu model ligand olarak seçildi. Fenilboronik asit ile birlikte katalitik eşleşme ortağı olarak elektronca fakir 4-kloroasetofenon kullanıldı. Çevreci çözücüler olarak su/*i*-PrOH karışımı (3:1, *h/h*) tercih edildi. Benzimidazolyum tuzu/Pd(OAc)<sub>2</sub> (2:1) katalitik sistemi varlığında baz, sıcaklık ve zaman gibi farklı parametrelerin tepkime üzerindeki katalitik etkisi incelendi. Gerçekleştirilen ön denemeler sonucunda elde edilen veriler Tablo 2'de verilmiştir.

İlk olarak en iyi bazın bulunması için NaOH, KOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> gibi farklı bazlar kullanılarak fenilboronik asit, 4-kloroasetofenon ile etkileştirildi (Tablo 2, deney no: 1-5). Yapılan denemelerde 80 °C sıcaklıkta ve 2 saat sonunda en yüksek verimin K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> bazı varlığında gerçekleştiği gözlemlendi (Tablo 2, deney no: 4). Bu nedenle gerçekleştirilen koşullar altında en iyi bazın K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> olduğu belirlendi. Tepkime sıcaklığının verim üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla farklı sıcaklıklarda bir dizi deneme yapıldı (Tablo 2, deney no: 6-9). Sıcaklığın kademeli olarak düşürülmesi ile tepkime veriminin de azaldığı gözlemlendi. Örneğin; tepkime 60 °C sıcaklıkta gerçekleştirildiğinde %100 verim gözlenirken (Tablo 2, deney no: 6), sıcaklık 50 °C'ye düşürüldüğünde tepkime veriminin değişmediği gözlemlendi (Tablo 2, deney no: 7). Sıcaklık 40 °C'ye düşürüldüğünde ise tepkime veriminde belirgin bir düşüş gözlenirken (Tablo 2, deney no: 8), tepkime oda sıcaklığında gerçekleştirildiğinde verimin %32'ye düştüğü görüldü (Tablo 2, deney no: 9). Bu nedenle tepkime için en ideal sıcaklığın 50 °C olduğuna karar verildi. Son olarak tepkime süresinin verim üzerindeki etkisi incelendi (Tablo 2, deney no: 10-11). Tepkime süresi 50 °C'de 2 saatten 1 saate düşürüldüğünde %95 verim gözlenirken (Tablo 2, deney no: 10), tepkime süresinin 30 dakikaya düşürülmesi sonucunda %52 verim elde edildi (Tablo 2, deney no: 11).

**Tablo 1.** Sentezlenen benzimidazolyum tuzlarının (**1a-d**) bazı fiziksel ve spektroskopik özellikleri.

LHX	Molekül formülü	Verim (%)	E.n. (°C)	FT-IR $\nu_{(CN)}$ (cm <sup>-1</sup> )	H(2) <sup>1</sup> H NMR (ppm)	C(2) <sup>13</sup> C NMR (ppm)
<b>1a</b>	C <sub>25</sub> H <sub>36</sub> ClN <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	92	186-187	1563	11,24	143,2
<b>1b</b>	C <sub>24</sub> H <sub>25</sub> BrN <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	86	120-121	1558	11,54	143,4
<b>1c</b>	C <sub>25</sub> H <sub>27</sub> ClN <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	90	119-120	1552	11,55	143,7
<b>1d</b>	C <sub>38</sub> H <sub>37</sub> BrN <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	84	165-166	1570	11,25	143,3

**Tablo 2.** Fenilboronik asitin 4-kloroasetofenon ile Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşmesine ait optimum koşulların belirlenmesi<sup>a</sup>

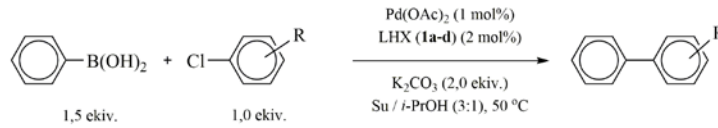
Deney No	Baz	Zaman (Saat)	Sıcaklık (°C)	Verim (%) <sup>b</sup>
1	NaOH	2	80	88
2	KOH	2	80	92
3	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2	80	87
4	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2	80	100
5	Cs <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2	80	96
6	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2	60	100
7	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2	50	100
8	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2	40	65
9	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2	25	32
<b>10</b>	<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	<b>1</b>	<b>50</b>	<b>95</b>
11	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.5	50	52
12	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1	50	85 <sup>c</sup>
13	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1	50	30 <sup>d</sup>

<sup>a</sup>Tepkime şartları: Pd(OAc)<sub>2</sub> (5,10<sup>-3</sup> mmol, 1 mol%), LHX (**1a**) (1,10<sup>-2</sup> mmol, 2 mol%), fenilboronik asit (0,091 g, 0,75 mmol), 4-kloroasetofenon (0,077 g, 0,5 mmol), baz (1,0 mmol), dekan (iç standart olarak) (0,025 mL), su (3 mL), *i*-PrOH (1 mL).

<sup>b</sup>Ürün verimleri 4-kloroasetofenon esas alınarak GC ile belirlenmiştir.

<sup>c</sup>Çözücü olarak su (2 mL)/DMF (2 mL) karışımı kullanılmıştır.

<sup>d</sup>Çözücü olarak su (4 mL) kullanılmıştır.

**Tablo 3.** Fenilboronik asit ile farklı aril klorürlerin Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşme tepkimesi<sup>a</sup>

Deney No	Aril klorür	LHX	Biaril ürünü	Zaman (saat)	Verim (%) <sup>b</sup>
1		<b>1a</b>		1	92
2		<b>1b</b>		1	80
3		<b>1c</b>		1	85
4		<b>1d</b>		1	89
5		<b>1a</b>		1	87
6		<b>1b</b>		1	80
7		<b>1c</b>		1	76
8		<b>1d</b>		1	84
9		<b>1a</b>		1	95
10		<b>1b</b>		1	85
11		<b>1c</b>		1	82
12		<b>1d</b>		1	88
13		<b>1a</b>		2	84
14		<b>1b</b>		2	64
15		<b>1c</b>		2	77
16		<b>1d</b>		2	70
17		<b>1a</b>		2	80
18		<b>1b</b>		2	63
19		<b>1c</b>		2	60
20		<b>1d</b>		2	75
21		<b>1a</b>		4	84
22		<b>1b</b>		4	75
23		<b>1c</b>		4	70
24		<b>1d</b>		4	82

<sup>a</sup>Tepkime şartları: Pd(OAc)<sub>2</sub> (5,10<sup>-3</sup> mmol, 1 mol%), LHX (**1a-d**) (1,10<sup>-2</sup> mmol, 2 mol%), fenilboronik asit (0,091 g, 0,75 mmol), aril klorür (0,5 mmol), K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (0,138 g, 1,0 mmol), dekan (iç standart olarak) (0,025 mL), su (3 mL), *i*-PrOH (1 mL), 50 °C.

<sup>b</sup>Ürün verimleri aril klorür esas alınarak GC ile belirlenmiştir.

Tepkime süresinin 1 saatten daha kısa tutulması, tepkimenin tam olarak gerçekleşmediğini göstermektedir. Bu nedenle gerçekleştirilen koşullar altında fenilboronik asitin 4-kloroasetofenon ile etkileşmesi için en ideal tepkime süresinin 1 saat olduğu belirlendi. Ayrıca tepkimede farklı çözücü sistemlerinin de verim üzerindeki etkisi incelendi (Tablo 2, deney no: 12-13). Tepkime, Suzuki-Miyaura tepkimeleri için literatürde yaygın olarak kullanılan su/DMF karışımı ile gerçekleştirildiğinde, %85 verim gözlenirken, çözücü olarak sadece su tercih edildiğinde tepkimede gözlenen çözünme problemleri ile birlikte verimin %30'a kadar düştüğü görülmektedir.

Tablo 2'de gerçekleştirilen ön denemeler sonucunda belirlenen tepkime koşulları altında, fenilboronik asitin farklı aril klorürler ile Suzuki-Miyaura eşleşmesinde sentezlenen tüm NHC ligandlarının (**1a-d**) katalitik aktivitesi incelendi. Aril klorür türevi olarak *para*-substitüye 4-kloroasetofenonun yanı sıra 4-klorotoluen ve 4-kloroanisol, ve ayrıca sterik engelli *orto*-substitüye 2-klorotoluen, 2-kloroanisol ve 2,6-dimetilklorbenzen kullanıldı. NHC ligandı olarak **1a-d** benzimidazolyum tuzları varlığında farklı aril klorürlerin fenilboronik asit ile Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşme tepkimesine ait veriler Tablo 3'de verilmiştir.

Yapılan katalitik çalışmalarda NHC ligandlarının (**1a-d**) Pd(OAc)<sub>2</sub> ile *in situ* koşullarda etkileştirilmesi ile oluşturulan katalizörlerin Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşme tepkimesindeki katalitik özellikleri sulu ortamda ve ılımlı koşullar altında incelenmiş ve oluşturulan katalitik sistem ile yüksek verimde eşleşme ürünleri elde edilmiştir (Tablo 3, deney no: 1-24). Örneğin, aril klorür türevi olarak 4-klorotoluen kullanıldığında %80-92 aralığında değişen verimlerde eşleşme ürünleri elde edilirken (Tablo 3, deney no: 1-4), 4-kloroanisol kullanıldığında %76-87 aralığında değişen verimler gözlenmiştir (Tablo 3, deney no: 5-8). *Para*-substitüye aril klorürler arasında en aktif tür olan 4-kloroasetofenon varlığında en yüksek verimler elde edilmiştir (Tablo 3, deney no: 9-12). *Orto*-substitüye aril klorürler kullanıldığında tepkime verimin artırılması için daha yüksek tepkime sürelerine ihtiyaç duyulmuştur. Örneğin, 2-klorotoluen ve 2-kloroanisol kullanıldığında tepkimeler 2 saatte gerçekleştirilmiştir. 2-Klorotoluen ile %64-84 aralığında değişen verimlerde eşleşme ürünleri elde edilirken (Tablo 3, deney no: 13-16), 2-kloroanisol ile %60-80 aralığında değişen verimler elde edilmiştir (Tablo 3, deney no: 17-20). 2,6-Dimetilklorbenzen kullanıldığında tepkime süresi 4 saate çıkarılmıştır. 2,6-Dimetilklorbenzen ile %70-84 aralığında değişen verimler elde edilmiştir (Tablo 3, deney no: 21-24).

Sonuç olarak bu çalışmada, *para*-substitüye aril klorürlerin *orto*-substitüye aril klorürlere oranla daha kısa sürede ve daha yüksek verimlerde eşleşme ürünleri verdiği görüldü. Bu durum *para*-substitüye

aril klorürlerin katalitik döngü boyunca metal merkezine oksidatif katılımının sterik sebeplerden dolayı *orto*-substitüye aril klorürlere oranla daha hızlı gerçekleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, gerçekleştirilen katalitik çalışmalarda NHC ligandlarının katalitik aktiviteleri karşılaştırıldığında, **1a** ve **1d** ligandlarının katalitik aktivitelerinin **1b** ve **1c** ligandlarının katalitik aktivitelerine oranla daha fazla olduğu görüldü. Bu durum **1b** ligandında eter grubuna ek olarak amin grubunun da bulunması ve her iki fonksiyonel grubun katalitik döngü boyunca metal merkezi ile etkileşim içinde olması ihtimali ile açıklanabilir. Benzer şekilde, **1d** ligandında eter grubuna ek olarak hacimli 4,4'-dimetoksitritil grubunun sterik özelliği sayesinde redüktif eliminasyon basamağını kolaylaştırdığı düşünülmektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada NHC ligandı olarak eter-fonksiyonize dört yeni benzimidazolyum tuzu (**1a-d**) sentezlendi. Sentezlenen NHC ligandlarının yapıları <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR, FT-IR spektroskopisi ve element analizi yöntemleriyle karakterize edildi. Sulu ortamda, NHC ligandlarının Pd(OAc)<sub>2</sub> ile *in situ* koşullarda etkileştirilmesi ile oluşturulan katalizörlerin fenilboronik asit ile farklı aril klorür türevleri arasındaki Suzuki-Miyaura çapraz-eşleşme tepkimelerindeki katalitik özellikleri incelendi. Çevreci bir çözücü sistemi ile gerçekleştirilen katalitik tepkimeler sonucunda yüksek verimlerde eşleşme ürünleri elde edildi. Bundan sonraki çalışmalarda ise NHC ligandlarının geçiş-metal komplekslerinin sentezlenmesi ve hazırlanan bu bileşiklerin farklı C-C bağ oluşum tepkimelerindeki katalitik aktivitesinin incelenmesi planlanmaktadır.

#### Teşekkür

Bu çalışmaya katkılarından dolayı Dr. Nazan KALOĞLU'na teşekkür ederim.

#### Kaynakça

- [1] Hassan, J., Sévignon, M., Gozzi, C., Schulz, E., Lemaire, M. 2002. Aryl-Aryl Bond Formation One Century After the Discovery of the Ullmann Reaction. *Chemical Reviews*, 102(2002), 1359-1470.
- [2] Eicher, T., Hauptmann, S., Speicher, A. 2012. *The Chemistry of Heterocycles: Structures, Reactions, Synthesis, and Applications*. 3rd, completely revised and enlarged edition. WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, 646s.
- [3] Li, J. J., Gribble, G. W. 2007. *Palladium in Heterocyclic Chemistry-A guide to the Synthetic Chemist*. 2nd edition. Elsevier Ltd., Oxford, 658s.
- [4] Beller, M., Bolm, C. 2004. *Transition Metals for Organic Synthesis: Building Blocks and Fine*

- Chemicals. 2nd revised and enlarged edition. WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, 1344s.
- [5] de Meijere, A., Diederich, F. 2014. Metal-Catalyzed Cross-Coupling Reactions. 2nd, completely revised and enlarged edition. WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, 938s.
- [6] Alberico, D., Scott, M. E., Lautens, M. 2007. Aryl-Aryl Bond Formation by Transition-Metal-Catalyzed Direct Arylation. *Chemical Reviews*, 107(2007), 174-238.
- [7] Nicolaou, K. C., Bulger, P. G., Sarlah, D. 2005. Palladium-Catalyzed Cross-Coupling Reactions in Total Synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(2005), 4442-4489.
- [8] Heck, R. F., Negishi, E., Suzuki, A. 2010. The Nobel Prize in Chemistry 2010. [https://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2010/](https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2010/) (Erişim Tarihi: 02.07.2018).
- [9] Miyaura, N., Yamada, K., Suzuki, A. 1979. A New Stereospecific Cross-Coupling by the Palladium-Catalyzed Reaction of 1-Alkenylboranes with 1-Alkenyl or 1-Alkynyl Halides. *Tetrahedron Letters*, 20(1979), 3437-3440.
- [10] Miyaura, N., Suzuki, A. 1995. Palladium-Catalyzed Cross-Coupling Reactions of Organoboron Compounds. *Chemical Reviews*, 95(1995), 2457-2483.
- [11] Suzuki, A. 1999. Recent Advances in the Cross-Coupling Reactions of Organoboron Derivatives with Organic Electrophiles. *Journal of Organometallic Chemistry*, 576(1999), 147-168.
- [12] Littke, A. F., Fu, G. C. 2002. Palladium-Catalyzed Coupling Reactions of Aryl Chlorides. *Angewandte Chemie International Edition*, 41(2002), 4176-4211.
- [13] Suzuki, A. 2002. Cross-Coupling Reactions via Organoboranes. *Journal of Organometallic Chemistry*, 653(2002), 83-90.
- [14] Deng, Y., Gong, L., Mi, A., Liu, H., Jiang, Y. 2003. Suzuki Coupling Catalyzed by Ligand-Free Palladium(II) Species at Room Temperature and by Exposure to Air. *Synthesis*, 3(2003), 337-339.
- [15] Anastas, P., Eghbali, N. 2010. Green Chemistry: Principles and Practice. *Chemical Society Reviews*, 39(2010), 301-312.
- [16] Li, C. -J., Chan, T. -H. 2007. *Comprehensive Organic Reactions in Aqueous Media*. 2nd edition. John Wiley&Sons, Inc., New York, 440s.
- [17] Sakurai, H., Sukuda, T., Hirao, T. 2002. Pd/C as a Reusable Catalyst for the Coupling Reaction of Halophenols and Arylboronic Acids in Aqueous Media. *Journal of Organic Chemistry*, 67(2002), 2721-2722.
- [18] Genet, J. -P., Savignac, M. 1999. Recent Developments of Palladium(0) Catalyzed Reactions in Aqueous Medium. *Journal of Organometallic Chemistry*, 576(1999), 305-317.
- [19] Parisot, S., Kolodziuk, R., Henry, C. G., Iourtchenko, A., Sinou, D. 2002. Glucosamine-Based Phosphines. Efficient Ligands in the Suzuki Cross-Coupling Reaction in Water. *Tetrahedron Letters*, 43(2002), 7397-7400.
- [20] Gürbüz, N., Özdemir, İ., Demir, S., Çetinkaya, B. 2004. Improved Palladium-Catalyzed Coupling Reactions of Aryl Halides Using Saturated *N*-Heterocarbene Ligands. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 209(2004), 23-28.
- [21] Kaloğlu, M., Sémeril, D., Brenner, E., Matt, D., Özdemir, İ., Toupet, L. 2016. The Influence of Imidazolylidene Ligands with Bulky Resorcinarenyl Substituents on Catalysts for Suzuki-Miyaura Coupling. *European Journal of Inorganic Chemistry*, 7(2016), 1115-1120.
- [22] Yin, J., Rainka, M. P., Zhang, X. X., Buchwald, S. L. 2002. A Highly Active Suzuki Catalyst for the Synthesis of Sterically Hindered Biaryls: Novel Ligand Coordination. *Journal of American Chemical Society*, 124(2002), 1162-1163.
- [23] McGuinness, D. S., Cavell, K. J. 2000. Donor-Functionalized Heterocyclic Carbene Complexes of Palladium(II): Efficient Catalysts for C-C Coupling Reactions. *Organometallics*, 19(2000), 741-748.
- [24] Herrmann, W. A. 2002. *N*-Heterocyclic Carbenes: A New Concept in Organometallic Catalysis. *Angewandte Chemie International Edition*, 41(2002), 1290-1309.
- [25] Hopkinson, M. N., Richter, C., Schedler, M., Glorius, F. 2014. An Overview of *N*-Heterocyclic Carbenes. *Nature*, 510(2014), 485-496.

## Enhancing Carrier Mobility in Organic Light Emitting Diode Based Polyfluorene by Self-Assembled Monolayers Technique on Indium Tin Oxide

Ali Kemal HAVARE

Toros University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering Department, 33140, Mersin  
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9272-9223>)

(Alınış / Received: 10.06.2018, Kabul / Accepted: 14.11.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 03.03.2019)

### Keywords

Organic LED,  
Polyfluorene,  
Self-Assembled Monolayer

**Abstract:** An organic compound (1'-4-iodophenyl) trihidroksilane (OH-IPhSi) functionalized as hole transporting material was synthesized and used as interface self-assembled monolayers (SAM) on ITO film. To analyze the effect of a SAM layers on the characteristics an organic light emitting diode (Organic LED), a typical Organic LED device (ITO/OH-IPhSi/polymer/LiF/Al) was fabricated. The SAM-treatment ITO device performed a higher mobility than the bare ITO device. The carrier mobility properties were calculated by space-charge-limited current measurements (SCLC) technique for polyfluorene (PFO) polymer Organic LED devices.

## İndiyum Kalay Oksit Üzerinde Kendiliğinden Organize Tek Tabaka Tekniği ile Polifluoren Tabanlı Organik Işık Yayan Diyotun Taşıyıcı Mobilitesinin Geliştirilmesi

### Anahtar Kelimeler

Organik LED,  
Polifluoren,  
Kendiliğinden Organize Tek Tabaka

**Özet:** Hole taşıma malzemesi olarak işlev gören bir organik bileşik (1'-4-iyodofenil) trihidroksilane (OH-IPhSi) sentezlendi ve indiyum kalay oksit (ITO) anodu üzerinde kendinden organize tek tabaka (KOT) olarak kaplandı. Bir KOT katmanının, bir organik ışık yayan diyot (Organik LED) üzerindeki etkisini araştırmak için, tipik bir Organik LED cihazı (ITO / OH-IPhSi / polimer / LiF / Al) yapılmıştır. KOT ile modifiye edilmiş cihaz, çıplak ITO cihazından daha yüksek bir mobilite göstermiştir. Bunun yanı sıra, yüklerin mobilite özelliklerinin, polifluoren (PFO) polimer Organik LED cihazları için space charge limitli akım (SCLC) tekniği kullanılarak hesaplanmıştır.

### 1. Introduction

Organic LEDs has become important in recent years owing to the possible applications as commercial devices in organic electronic industry such as mobile phones and display screen etc.[1-4]. The interfacial phenomena is important for performance and stability of an organic LEDs. An assortments of interfacial modifications have been taken to both cathode/organic and anode/organic junctions to enhance the charge injection, and device performance[5]. The modification of indium tin oxide (ITO) anode/hole transport layer (HTL) interface play a significant role about hole injection. One of the novel treatment techniques is to use SAM between anode and HTL. The SAM layer is used for surface modification in order to enhance the carrier mobility and has had a powerful potential to improve the interfacial compatibility between the hydrophilic ITO

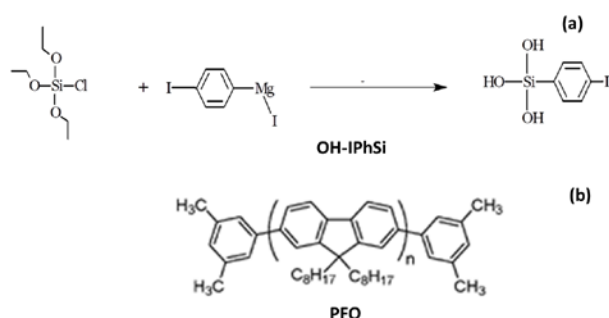
and hydrophobic organic layers[6, 7]. Moreover, the other functions of SAMs in Organic LED: as increase the work function of ITO, a current blocking layer and enhance the stability of HTL layer and the adhesion [8, 9].

In this study, we investigated the electrical properties of SAM treatment ITO surface to elucidate the performance of ORGANIC LED devices. The new generation OH-IPhSi -SAM molecule was synthesis to modified ITO surface. Two different standard Organic LED devices were fabricated which is the structure ITO/PFO/LiF/Al and ITO/OH-IPhSi /PFO/LiF/Al to compare their electrical characteristics by means of carrier mobility via SCLC method. SCLC measurements have been used to evaluate carrier mobility under steady state of current in an organic layer [10-12].

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials and Preparation of ITO

The polyfluorene (PFO, 99%) and ITO films with a surface resistivity of 15-25  $\Omega$ /sq were purchased from Sigma Aldrich. Al metal with a purity of 99% was used as cathode contact material in the Organic LED devices. The synthesis of SAM material (a trihydroxysilane derivative) was carried out by a previously published procedure [J. Ohshita, A. Yamashita, T. Hiraoka, A. Shinpo, and A. Kunai, *Polymeric Organosilicon Systems*. 27. Preparation and Reactions of Poly[(ethoxysilylene)phenylenes] and Thermal Properties of the Resulting Polymers, *Macromolecules*, 1997, 30, 1540-1549.] and it is depicted in Scheme 1.



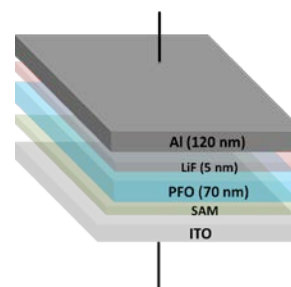
**Figure 1.** Synthetic pathway and structure of SAM molecule OH-IPhSi (a), and structure of PFO polymer (b).

The aim of the development of the ITO surface is to remove the impurities and to obtain reactive ITO surface as well as to increase the interactions between ITO and SAM interface. In order to refrain to any contamination that may prevent bounding of SAM on ITO, the tools are carefully cleaned in all steps fabricating the device process. The ITO substrates were cleaned by the following procedure; firstly, the films are bathed in an ultrasound solution of ultrapure water for 30 min, and then they are rinsed in pure NaOH (30%) for 20 min after that they are immersed in pure sulphuric acid (98%) during 20 seconds. The final step, the films are rinsed again in an ultrasound bath of ultrapure water for 2 min. These treatments are performed in order to provide ITO surface more hydrophilic and reactive to help formation of SAM properly. ITO coated glasses (2.5x2.5 cm) were kept in 1mM OH-IPhSi chloroform solution for 24 hours in order to let the formation of SAM film on ITO. Then the glasses were rinsed to remove uncoated organic material and then dried slowly by Nitrogen.

### 2.2. The formation of Organic LED layers

The layers of the Organic LED devices were formed by thermal evaporation. The active polymer polyfluorene (PFO) film is coated by spinning onto the ITO/OH-IPhSi substrate. Metal layer, aluminum (Al), was evaporated at a rate of 1  $\text{\AA}$ /s under a base pressure of  $5 \times 10^{-6}$  mbar. The structure of Organic

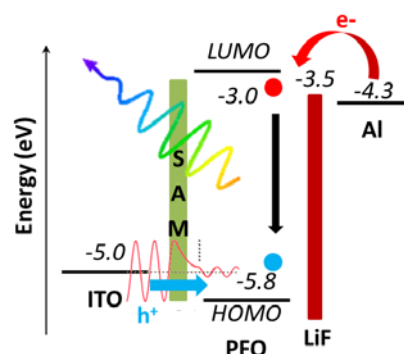
LED devices are in the configuration of ITO/PFO (70 nm)/LiF (5 nm)/Al (120 nm) and ITO/ OH-IPhSi /PFO (70 nm)/LiF (5nm)/Al (120nm).



**Figure 2.** The structure of Organic LED device layer by layer.

## 3. Result

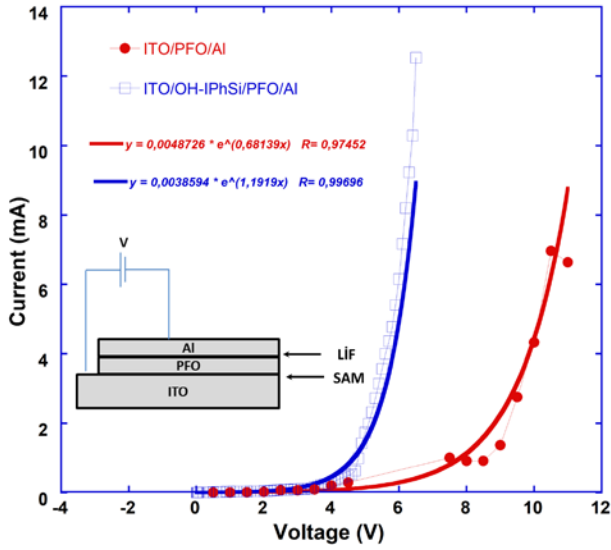
In our study, Polymer Organic LEDs create lights by various steps as follows. By forward bias, positive charge carrier (holes) are tunneling from the anode to the highest occupied molecular orbital (HOMO) of PFO at the same time negative charge carriers are injected from the cathode to the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) of PFO (Figure 3). In this heterostructure device, interface barrier leads to an injection-limited current. Hole injections is able to be tunneling (Fowler–Nordheim injection) or be thermionic emission injection[13]. As a result, the injection of hole or electrons between layers is the first step to form light. Therefore, enhancing the interface between the contacts and the organic layer becomes critical to obtain better device performance.



**Figure 3.** The energy diagram of polymer Organic LED.

Similarly, the matching energy level of each layer is an important point to balance the hole and electrons in emissive layer to enhance the device performance. The problem of the multilayers' structure in Organic LED device is mismatch of energy level may prevent holes and electrons injection from anode and cathode contacts. Modification of ITO anode by SAM and Al cathode by LiF is popular solutions to overcome these kinds of difficulty. SAM-OH-IPhSi form an extra HOMO levels on ITO surface and it is shifted the HOMO level of ITO toward HOMO of PFO after modification. So that OH-IPhSi layer may aid the holes to tunnel from fermi energy level of ITO to the HOMO of PFO (Figure 3.). The easiest way to understand how to SAM layer affect hole injection on

the performance of the Organic LED device is to measure Current-Voltage (I-V) and calculate the hole mobility by Space charge limited current (SCLC).



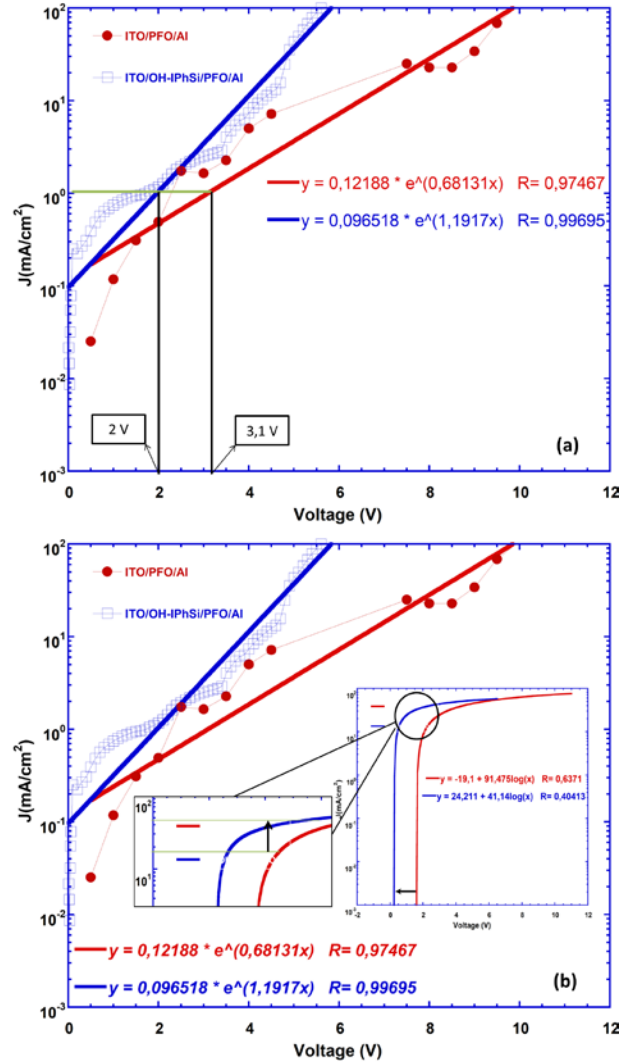
**Figure 4.** The current (I)-Voltage (V) characteristic of ITO/PFO/LiF/Al and ITO/OH-IPhSi/PFO/LiF/Al Organic LED device.

The current (I)- Voltage (V) characteristics of the Organic LED with and without SAM treatments were shown in Figure 4. The turn-on voltage of the OH-IPhSi- Organic LEDs is lower than bare one that implies the hole injection is increased by SAM interface between ITO and the PFO layer (Figure 4.). The curve of J-V is fitted to see in detail the increasing current density for each device by exponential curve fit. When the current density becomes 1 mA, the voltage of ITO/PFO/LiF/Al and ITO/OH-IPhSi/PFO/LiF/Al is 2 V and 3.1 V, respectively (Figure 5(a)). It can be seen easily from Figure 5(a) that the OH-IPhSi -modified Organic LED device shows higher current density for the same voltage. It means that OH-IPhSi-SAM layer let more holes to get tunneling from ITO to HOMO level of PFO and at the same time the balance of holes and electron are adjusted in emissive layer (PFO layer). As well as the logarithmic curve fit of J-V characteristic data also shows that OH-IPhSi-SAM layer increases hole injections at the interface of ITO and organic layer (Figure 5(b)). The turn-on voltages for both modified ITO with OH-IPhSi and bare ITO devices are compared.

The device shows diode characteristic current that the charges flow is ruled by Ohm's law once the external electric field is less than  $10^4$  V/cm, injected charge density is less than intrinsic current flow density. That is because the mobilities in organic luminescent materials are low. Charge injection into low mobility organic materials inherently leads to charge accumulations in the organic layer. The formed charge partially keeps out the applied electric field, leading to its redistribution. With the application of high external field ( $>10^5$  V/cm), the

injected current density is higher than intrinsic charge density near the electrode/organic interface because of low carrier mobility. Thus, the internal electric field is improved by the space charges and the current density J is governed by the SCLC[11, 12] and can be described as,

$$J = \frac{9}{8} \epsilon \epsilon_0 \frac{E^2}{L} \quad (1)$$



**Figure 5.** The current density (J)-Voltage (V) characteristic of ITO/PFO/LiF/Al and ITO/OH-IPhSi/PFO/LiF/Al Organic LED device with exponential curve fit (a), and logarithmic curve fit (b).

L is the thickness of the organic layer,  $\epsilon_0$  and  $\epsilon$  are the permittivity of the free space and the relative dielectric constant, respectively (Figure 6(a)). Arbitrarily located dipoles in the organic layers and randomly interaction and collision each charge lead to decreases the hole mobility  $\mu$ . Thus, the mobility concerning the electric field and is defined by Poole-Frenkel equation[14],

$$\mu(E) = \mu_0 \exp(\beta \sqrt{E}) \quad (2)$$

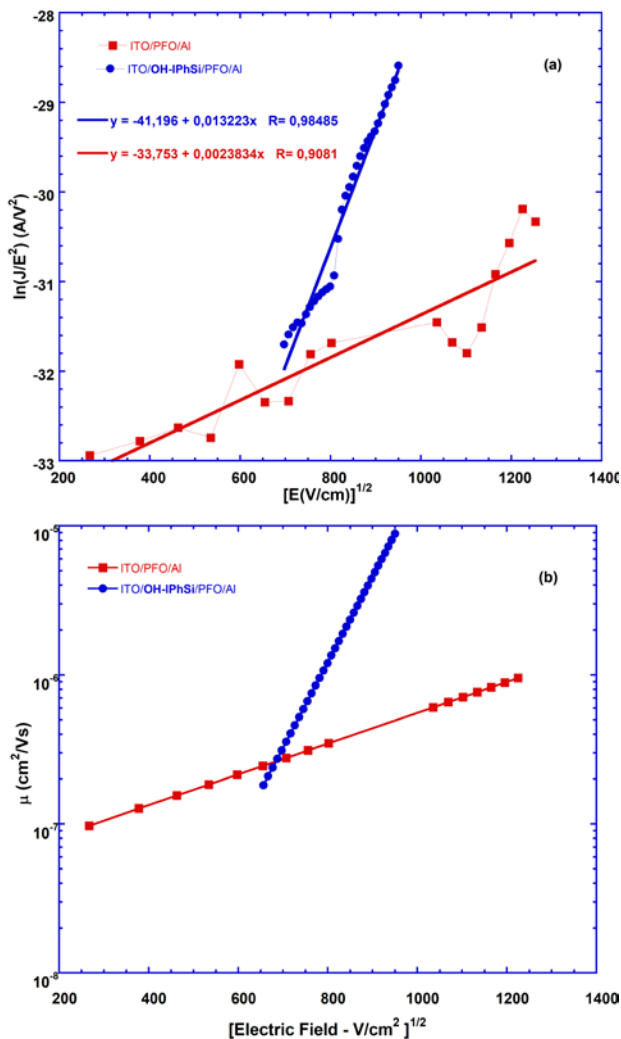
**Table 1.** The maximum current, current density, the logarithm of  $J/E^2$  for ITO/ OH-IPhSi/PFO/LiF/Al and ITO/PFO/LiF/Al device

	Turn on Voltage	J (mA/cm <sup>2</sup> )	ln J/E <sup>2</sup> (900 V/cm <sup>2</sup> )	$\mu$ (cm <sup>2</sup> /Vs)
ITO/PFO/LiF/Al	7	56.5 (7 V)	-31.3	4.5x10 <sup>-6</sup>
ITO/ OH-IPhSi/PFO/LiF/Al	4.5	54.3(4.5 V)	-29.2	4.3x10 <sup>-7</sup>

$\beta$  is Poole-Frenkel factor and  $\mu_0$  is the zero-field mobility. From the combinations of equa. (1) and (2), the field dependent SCLC [15, 16] is described by

$$J = \frac{9}{8} \varepsilon \varepsilon_0 \frac{E^2}{L} \mu_0 \exp(\beta \sqrt{E}) \quad (3)$$

The carrier mobility is an important parameter for all electronic devices in terms of performance. It is calculated the hole mobility of ITO/ OH-IPhSi/PFO/LiF/Al and ITO/PFO/LiF/Al using SCLC technique (Figure 6(b)).



**Figure 6.** The square root of the applied electric field versus the logarithm of  $J/E^2$  for ITO/ OH-IPhSi/PFO/LiF/Al and ITO/PFO/LiF/Al structure (a), the carrier mobility  $\mu$  of these devices (b).

#### 4. Discussion and Conclusion

SAM modification on the device leads to have better performance comparing to unmodified one. SAM layer cause lower the barrier of charge injection and

improve the interfacial layers the between metal contacts and organic layer (Figure 3). It is obvious that ITO/OH-IPhSi/PFO/LiF/Al device indicate the current increases faster than nonmodified device by the linear fitting of  $\ln(J/E^2)$  curve (Figure 6(a)). There is a correlation between J-V characteristic results and hole mobility result, the carrier mobility is  $4.5 \times 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/Vs of OH-IPhSi modified Organic LED device and  $4.3 \times 10^{-7}$  cm<sup>2</sup>/Vs of ITO/PFO/LiF/Al at 900 V/cm electric field. (Figure 6(b)). 10 times higher mobility is obtained by modifying ITO surface with respect to bare one. The literature is showed that the hole mobility of the organic diodes are changes between  $10^{-6}$  and  $10^{-3}$  cm<sup>2</sup>/Vs under the electric field and all the results are found in this study is consistent with the literature[16-19].

#### References

- [1] Facchetti, A., 2010.  $\pi$ -Conjugated polymers for organic electronics and photovoltaic cell applications. *Chemistry of Materials*, 23 (2010), 733-758.
- [2] Meena, J. S., Sze, S. M., Chand, U., Tseng, T.-Y., 2014. Overview of emerging nonvolatile memory technologies. *Nanoscale research letters*, 9 (2014), 526.
- [3] Yağmurcukardeş, N., Characterization of modified ito anode surfaces with 4 [3-methylphenyl) phenyl) amino] benzoic acid for oled applications, in, İzmir Institute of Technology, 2011.
- [4] Cochrane, C., Meunier, L., Kelly, F. M., Koncar, V., 2011. Flexible displays for smart clothing: Part I—Overview. (2011).
- [5] Ma, H., Yip, H. L., Huang, F., Jen, A. K. Y., 2010. Interface engineering for organic electronics. *Advanced Functional Materials*, 20 (2010), 1371-1388.
- [6] Choy, W. C., Zhang, D., 2016. Solution-Processed Metal Oxides as Efficient Carrier Transport Layers for Organic Photovoltaics. *Small*, 12 (2016), 416-431.
- [7] Stranks, S. D., Snaith, H. J., 2015. Metal-halide perovskites for photovoltaic and light-emitting devices. *Nature nanotechnology*, 10 (2015), 391.
- [8] Su, H.-C., Hsu, J.-H., 2015. Improving the carrier balance of light-emitting electrochemical cells based on ionic transition metal complexes. *Dalton Transactions*, 44 (2015), 8330-8345.
- [9] Baldo, M., Thompson, M., Forrest, S., 2000. High-efficiency fluorescent organic light-emitting



- devices using a phosphorescent sensitizer. *Nature*, 403 (2000), 750.
- [10] Jiang, Y., Oh, N., Shim, M., 2016. Double-heterojunction nanorod light-emitting diodes with high efficiencies at high brightness using self-assembled monolayers. *ACS Photonics*, 3 (2016), 1862-1868.
- [11] Blom, P. W., De Jong, M., Vleggaar, J., 1996. Electron and hole transport in poly (p-phenylene vinylene) devices. *Applied Physics Letters*, 68 (1996), 3308-3310.
- [12] Bozano, L., Carter, S., Scott, J., Malliaras, G., Brock, P., 1999. Temperature-and field-dependent electron and hole mobilities in polymer light-emitting diodes. *Applied Physics Letters*, 74 (1999), 1132-1134.
- [13] Heeger, A. J., Parker, I., Yang, Y., 1994. Carrier injection into semiconducting polymers: Fowler-Nordheim field-emission tunneling. *Synthetic Metals*, 67 (1994), 23-29.
- [14] Malliaras, G., Salem, J., Brock, P., Scott, C., 1998. Electrical characteristics and efficiency of single-layer organic light-emitting diodes. *Physical Review B*, 58 (1998), R13411.
- [15] Malliaras, G., Scott, J., 1999. Numerical simulations of the electrical characteristics and the efficiencies of single-layer organic light emitting diodes. *Journal of Applied Physics*, 85 (1999), 7426-7432.
- [16] Yasuda, T., Yamaguchi, Y., Zou, D.-C., Tsutsui, T., 2002. Carrier mobilities in organic electron transport materials determined from space charge limited current. *Japanese journal of applied physics*, 41 (2002), 5626.
- [17] Huh, D. H., Kim, G. W., Kim, G. H., Kulshreshtha, C., Kwon, J. H., 2013. High hole mobility hole transport material for organic light-emitting devices. *Synthetic Metals*, 180 (2013), 79-84.
- [18] Kabra, D., Lu, L. P., Song, M. H., Snaith, H. J., Friend, R. H., 2010. Efficient Single-Layer Polymer Light-Emitting Diodes. *Advanced Materials*, 22 (2010), 3194-3198.
- [19] Staudigel, J., Stössel, M., Steuber, F., Simmerer, J., 1999. Comparison of mobility and hole current activation energy in the space charge trap-limited regime in a starburst amine. *Applied Physics Letters*, 75 (1999), 217-219.

## Pomza'nın Fiziksel Özelliklerinin Kuru Birim Hacim Ağırlığı ve Termal İletkenliği Üzerine Etkileri

Savaş ÖZÜN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye  
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9475-1822>)

(Alınış / Received: 16.10.2018, Kabul / Accepted: 19.11.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 04.03.2019)

### Anahtar Kelimeler

Pomza,  
Tane boyutu,  
Yoğunluk,  
Kuru birim hacim ağırlık,  
Termal iletkenlik

**Özet:** Bu çalışmada, pomzada tane boyutu ve yoğunluğunun kuru birim hacim ağırlığı (gevşek) değeri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma ayrıca, farklı özgül ağırlıklara sahip olan pomza numuneleri kullanılarak hazırlanan yapı bloklarının termal iletkenliklerini de araştırmayı amaçlamıştır. Yapılan testlerde, Isparta bölgesi, Türkiye'den temin edilen pomza örneği, 4.75 mm ile 50 mm arasında dört farklı boyutta sınıflandırılmış. Her bir boyuttaki pomza numunesi, farklı yoğunluklarda pomza örneklerinin elde edilmesi amacıyla 1.2 g/cm<sup>3</sup> ve 1.8 g/cm<sup>3</sup> arasında, çinko klorür (ZnCl<sub>2</sub>) kullanılarak hazırlanan ağır ortam sıvılarında laboratuvar ölçekli yüzdürme-batırma testlerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar, kuru birim hacim ağırlık değerlerinin pomza numunelerinin yoğunluğuna ve tane boyutuna bağlı olarak değiştiğini; yüksek yoğunluklu pomza numuneleri ile karşılaştırıldığında düşük yoğunluklu pomza numunelerinin daha düşük kuru birim hacim ağırlık değerleri sergilediğini göstermiştir. Buna ek olarak, küçülen tane boyutu ve artan pomza yoğunluğu ile birlikte kuru birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Sonuçlar ayrıca, düşük yoğunluklu pomza örnekleri kullanılarak hazırlanan yapı bloklarının, yüksek yoğunluklu pomza örnekleri ile hazırlanan yapı bloklarından daha iyi ısı iletkenliği sağladığını göstermiştir.

## Influences of Physical Properties of Pumice on Its Dry Unit Volume Weight and Thermal Conductivity

### Keywords

Pumice,  
Particles size,  
Density,  
Dry unit volume weight,  
Thermal conductivity

**Abstract:** This study aimed to determine the influences of particle size and density of pumice on its dry unit volume weight (loose) values. The study also aimed to investigate the thermal conductivities of building blocks prepared using pumice samples having different specific gravities. For the tests, as-received pumice sample, obtained from Isparta province, Turkey, was classified in four different size fractions between 4.75 mm and 50 mm. Each sized pumice sample was subjected to laboratory scale float-sink tests in heavy medium liquids, prepared using zinc chloride (ZnCl<sub>2</sub>), between 1.2 g/cm<sup>3</sup> and 1.8 g/cm<sup>3</sup> in order to get pumice samples with different densities. The results showed that dry unit volume weight (loose) values of pumice samples varied depending on the density and particle size of pumice samples. The pumice samples having lower densities and bigger particle sizes displayed lower dry unit volume weight values, compared to those of higher densities and smaller particle sizes. The results also showed that building blocks prepared using pumice samples having lower densities provided better thermal conductivities than high-density pumice samples.

### 1. Giriş

Açık renkli, hafif ve yüksek silis içerikli volkanik bir kayaç olan pomza, magmanın volkanik püskürme esnasında hızla soğumasına ve basıncın hızla düşmesine bağlı olarak bünyesindeki çözünmüş gazların ve suyun eriyikten hızla uzaklaşması neticesinde gözenekli bir özellik kazanmaktadır.

Volkanın püskürme şiddeti ve pomzanın gözeneklilik derecesi magmadaki artan çözünmüş gaz miktarı ile artarken, püskürme sonucu oluşan ince boyutlu olanlar pümisit (pumicite), iri boyutlu olanları ise pumis (pumice) ya da pomza adını almaktadır [1]. Bir kristal yapısı olmadığı için cam olarak kabul edilen pomza, ortalama 1-2 özgül ağırlığa ve 5-6 Mohs sertlik değerine sahiptir [2-4]. Gözenekler arası camı

bir zarla ayrılan pomzanın gözeneklilik oranı %70'lere kadar çıkabilmekte ve makro boyutlardan mikro boyutlara kadar geniş bir boyut dağılımı göstermektedir [5].

Pomza süngerimsi gözenekli yapısına bağlı olarak düşük özgül ağırlık özelliği göstermektedir. Birbirlerinden camsı zarlar ile ayrılan düzensiz ve küresel, oval ve uzamış boru şeklinde olabilen gözenekli yapı pomzaya sese, ısıya ve soğuya karşı çok iyi bir yalıtım özelliği kazandırmaktadır [6, 7]. Ayrıca ateşe ve neme dayanıklılığı, yüksek basınç mukavemeti, normal betonla karşılaştırıldığında pomzalı betonun deprem yüklerine karşı daha elastik davranış gösterebilmesi ve pomza içerikli beton/yapı elemanlarının dona karşı dayanıklı olması vb. özellikleri nedeniyle madenciliği yapılan pomzanın yaklaşık %80'i inşaat sektöründe kullanılmaktadır [8,9].

Pomzanın inşaat sektöründe kullanımı çoğunlukla hafif tuğlalar, bloklar (bims vb.), asmolenler, paneller vb. şeklindedir. Yüksek puzzolanik özelliğe sahip pomza katkılı beton kullanımı ile betonun hafif olması, dolayısıyla bina yüklerinin önemli ölçüde azalması sağlanmaktadır. Normal kum/çakılın özgül ağırlıkları ile karşılaştırıldığında pomza kullanımı ile yaklaşık 1/3-2/3 oranında daha az özgül ağırlıklı beton eldesi sağlamaktadır [10]. Fiziksel özelliklerine ek olarak pomza kimyasal olarak da inert (tesirsiz) özellik sergilemektedir [11].

Pomza doğada genellikle andezit, bazalt ve traverten ile birlikte bulunmakla birlikte, pomza rezervleri az miktarda plajiyoklas ve alkali feldispatlar, piroksen, olivin, mika, amfibol ve kuvars da içermektedirler [12]. Pomza ile karşılaştırıldığında gözenekli bir yapısal özellik sergilemeyen ve daha yüksek yoğunluklara (2-4.5 gr/cm<sup>3</sup>) sahip olan bu minerallerin varlığı, elde edilen ürünün yalıtım özelliğini düşürürken, birim hacim ağırlığını da artırmaktadır. Bu sebeple, mekanik kazı yöntemleri ile açık işletme madenciliği uygulanarak üretimi gerçekleştirilen ve kazı işlemleri sonrasında herhangi bir zenginleştirme işlemine tabi tutulmadan çoğunlukla eleme işlemleri ile boyuta göre sınıflandırılmakta olan pomza kalitesinin artırılması

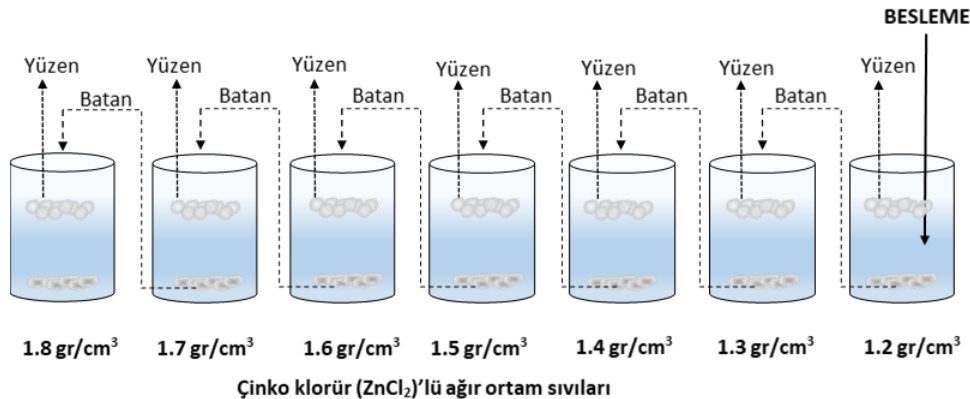
için cevherden bu minerallerin uzaklaştırılması gerekmektedir.

Bu bağlamda bu çalışma kapsamında Isparta, Gelincik bölgesinden temin edilen ve 4.75 mm ile 50 mm arasında 4 farklı boyut aralığında sınıflandırılan tüvenan pomza numunesinin tane boyutuna ve yoğunluğuna bağlı olarak kuru birim hacim ağırlıklarına olan etkileri incelenmiştir. Çalışma ayrıca farklı yoğunluklara sahip pomza numuneleri kullanılarak elde edilen yapı bloklarının termal iletkenlik değerlerinin belirlenmesini de amaçlamıştır.

## 2. Malzeme ve Yöntem

Tüvenan pomza numunesi, Gelincik bölgesi, Isparta'da faaliyet gösteren ISBAŞ Bimsblok A.Ş.'den temin edilmiştir. 50 mm'den daha ince boyut dağılımına ve yaklaşık 642 kg/m<sup>3</sup> kuru birim hacim ağırlık değerine sahip olan tüvenan pomza numunesinin X-ışını floresans (XRF) analizi sonuçları % 60 SiO<sub>2</sub>, % 17.8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 4.7 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 2.7 MgO, % 8 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O ve % 5 CaO olarak belirlenmiştir.

DeneySEL çalışmalar öncesinde pomza numunesi öncelikli olarak -50+25 mm, -25+15 mm, -15+10 mm ve -10+4.75 mm tane boyutu aralıklarında sınıflandırılmıştır. Her bir dar tane boyutu aralığında elde edilen pomza numuneleri daha sonra ayrı ayrı laboratuvar ölçekli yüzdürme-batırma testlerine tabi tutulmuştur. Yüzdürme-batırma testlerinde kullanılan 1.2-1.8 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukları arasında 0.1 gr/cm<sup>3</sup>'lük artış oranına sahip (Şekil 1) ağır sıvılar çinko klorürün (ZnCl<sub>2</sub>) suda çözünmesi ile hazırlanmıştır. Ağır sıvıların yoğunlukları her bir test öncesinde tekrar kontrol edilmiş, yoğunluk değerleri değişen sıvıların yoğunlukları çinko klorür ilavesi ile tekrar ayarlanmıştır. Testler sonrasında her bir yoğunlukta elde edilen pomza (yüzen) numuneleri süzgeç yardımıyla ayrı ayrı alınarak tanelerin yüzeylerini kaplayan çinko klorür çözeltisinin uzaklaştırılması amacıyla yıkanmış, süzölmüş ve 100°C'de etüvde kurumaya bırakılmıştır.



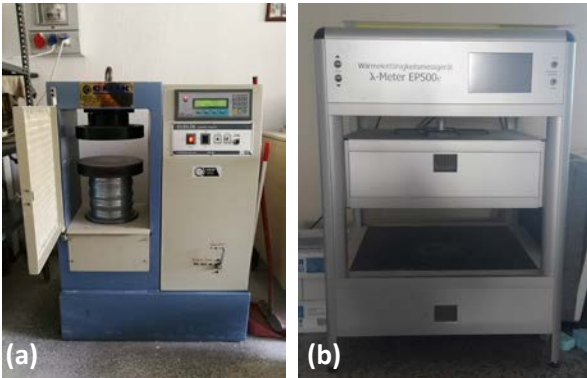
Şekil 1. Laboratuvar ölçekli yüzdürme-batırma test düzeneğinin şematik görüntüsü.

Çoğunlukla yoğunluk, kütle yoğunluğu veya birim kütlesi olarak adlandırılan birim hacim ağırlığı; kapasitesi  $\text{kg/m}^3$  olarak ifade edilen bir kabı dolduran kuru numunenin ağırlığı olarak tanımlanır. Bu çalışma kapsamında her bir boyut aralığındaki pomza numunelerinin (farklı yoğunluklarda) kuru birim hacim ağırlıkları, uygun boyuttaki bir ölçü silindirine (mezür) tartılmış bir kısmının yerleştirilmesi ve kaplanan hacmin belirlenmesi yoluyla hesaplanmıştır. Hesaplamalar her bir değişken için 2 numune hazırlanarak gerçekleştirilmiş, aritmetik ortalama değeri nihai birim hacim ağırlığı değeri olarak kabul edilmiştir. Tüvenan pomza numunesinin her bir dar tane boyutu aralığındaki % miktarları ve kuru birim hacim ağırlık değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Sonuçlara göre tüvenan pomza numunesinin yaklaşık %68'inin 15 mm'den daha iri boyutlu olduğu ve kuru birim hacim ağırlıklarının küçülen tane boyutu ile ters orantılı olarak arttığı görülmektedir.

**Tablo 1.** Tüvenan pomza numunesinin tane boyut dağılımına bağlı kuru birim hacim ağırlık değerleri.

Tane Boyutu (mm)	% Ağırlık	Birim Hacim Ağırlığı (kuru) ( $\text{kg/m}^3$ )
-50+25	32.41	643.08
-25+15	35.22	583.56
-15+10	12.93	649.85
-10+4.75	9.28	717.04
-4.75	10.16	762.10

Gerçekleştirilen yüzdürme-batırma testleri sonucunda elde edilen her bir farklı yoğunluğa sahip pomza numuneleri kullanarak hazırlanan yapı bloklarının hazırlanma işlemleri  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$  hacimli kalıplarda Çelik Makina markalı beton presi (Şekil 2 (a)) ile 25 MPa basınç uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Cihaz aynı zamanda tek eksenli basma ve dolaylı çekme dayanımı yapma kabiliyetine sahip olmakla birlikte max 200 ton yükleme kapasitesi sağlamaktadır. Termal iletkenlik değerleri ise EN 1946-2'ye uygun olarak ISBAŞ A.Ş. laboratuvarlarında <1% hata payına sahip yüksek hassasiyet ve doğruluk ile ölçüm işlemleri gerçekleştiren Lambda-Messtechnik GmbH Dresden, Lambda Meter EP500e (Şekil 2 (b)) ile belirlenmiştir.



**Şekil 2.** Çalışmalarda kullanılan (a) Tek eksenli basınç dayanımı test cihazı ve (b) Termal iletkenlik ölçer, Lambda Meter EP500e

### 3. Deneysel Sonuçlar

Çalışmanın bu bölümünde tane boyutuna göre sınıflandırılmış pomza numuneleri ile gerçekleştirilen yüzdürme-batırma test sonuçları, farklı yoğunluklara sahip pomza numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerleri ve pomza numuneleri kullanılarak hazırlanan yapı bloklarının termal iletkenlik değerleri verilmiştir. Birim hacim ağırlık belirlemeleri için sonuçlar azalan tane boyutu dağılımına göre alt başlıklar halinde sunulmuştur.

#### 3.1. -50+25 mm tane boyutlu pomza numunesinin yoğunluğa dayalı kuru birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi

Tablo 2'de -50+25 mm tane boyutu aralığında sınıflandırılmış pomza numunesi ile gerçekleştirilen yüzdürme-batırma test sonuçları ile elde edilen her bir yoğunluk için % ağırlıkça numune miktarları ve Şekil 3'de her bir yoğunluktaki pomza numunelerinin kuru birim hacim ağırlıkları grafiksel olarak verilmiştir. Sonuçlara göre beslemenin yaklaşık % 37'si  $1.8 \text{ gr/cm}^3$ 'den daha ağır malzeme olarak alınırken, yaklaşık % 11.2'lik kısmı ise  $1.2 \text{ gr/cm}^3$ 'den daha hafif malzeme olarak yüzün ürün olarak alınmıştır.

Dolayısıyla  $1.2 \text{ gr/cm}^3$ 'de yüzen pomza numunesinin kuru birim hacim ağırlık değeri  $360 \text{ kg/m}^3$  iken, artan yoğunlukla birlikte pomza numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerleri kademeli olarak artarak  $1.5 \text{ gr/cm}^3$ 'de yüzen pomza numunesi için  $560 \text{ kg/m}^3$ 'e,  $1.8 \text{ gr/cm}^3$ 'de yüzen pomza numunesi için  $700 \text{ kg/m}^3$ 'e ve  $1.8 \text{ gr/cm}^3$ 'de batan pomza numunesi için ise  $1000 \text{ kg/m}^3$ 'e çıkmaktadır.

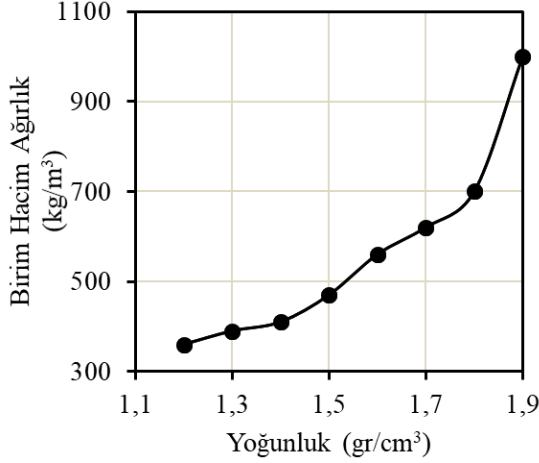
**Tablo 2.** -50+25 mm tane boyutu aralığında sınıflandırılmış pomza numunesinin yüzdürme-batırma test sonuçları

	Yoğunluk ( $\text{gr/cm}^3$ )	Ağırlık (%)
Yüzen	1.2	11.17
1.2 - 1.3		18.46
1.3 - 1.4		16.00
1.4 - 1.5		8.67
1.5 - 1.6		1.84
1.6 - 1.7		4.00
1.7 - 1.8		3.06
1.8 Batan		36.80
Besleme		100.00

#### 3.2. -25+15 mm tane boyutlu pomza numunesinin yoğunluğa dayalı kuru birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi

Tüvenan cevherin yaklaşık % 35'ini oluşturan ve deneysel çalışmalarda kullanılan ikinci en iri boyut aralığı olan, -25+15 mm'de boyuta göre sınıflandırılmış pomza numunesi kullanılarak elde edilen yüzdürme-batırma test sonuçları ve numunelerin yoğunluğa bağlı kuru birim hacim

ağırlık değerleri sırasıyla Tablo 3 ve Şekil 4'de verilmiştir. Sonuçlara göre, beslemenin yaklaşık % 30'u 1,8 gr/cm<sup>3</sup>'den daha ağır malzeme olarak alınırken, yaklaşık % 7'si ise yüzdürme-batırma testlerinde elde edilen en az yoğunluklu malzeme olarak 1.2 gr/cm<sup>3</sup>'lik ağır sıvıda yüzen pomza numunesi olarak elde edilmiştir.



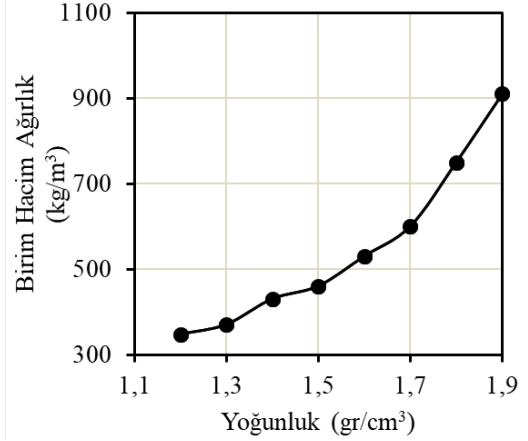
**Şekil 3.** -50+25 mm tane boyutu aralığında sınıflandırılmış pomza numunesinin yoğunluğa dayalı birim hacim ağırlık değerleri

**Tablo 3.** -25+15 mm tane boyutu aralığında sınıflandırılmış pomza numunesinin yüzdürme-batırma test sonuçları

	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)
Yüzen	1.2	7.06
1.2 - 1.3		16.21
1.3 - 1.4		18.66
1.4 - 1.5		16.35
1.5 - 1.6		4.74
1.6 - 1.7		4.44
1.7 - 1.8		2.67
1.8	Batan	29.88
	Besleme	100.00

Kuru birim hacim ağırlıklarının pomzanın gözeneklilik oranı ile ters orantılı olduğu, artan gözeneklilik oranı ile birlikte elde edilen numunelerin birim hacim ağırlıklarının azaldığı görülmektedir. Bu nedenle tüvenan cevherde aynı boyut aralığı için elde edilen yaklaşık 585 kg/m<sup>3</sup>'lük kuru birim hacim ağırlığı değeri ile karşılaştırıldığında, 1.2 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklu çinko klorür çözeltisinde yüzen pomza numunesinin birim hacim ağırlığı yaklaşık % 40'lık bir azalma ile 347 kg/m<sup>3</sup>'e düşmektedir.

Artan malzeme yoğunluğu ile birim hacim ağırlıkları kademeli olarak artarak; 1.3 gr/cm<sup>3</sup>'de yüzen pomza numunesi için 370 kg/m<sup>3</sup>'e, 1.5 gr/cm<sup>3</sup>'de yüzen pomza numunesi için 460 kg/m<sup>3</sup>'e, 1.7 gr/cm<sup>3</sup>'de yüzen pomza numunesi için 600 kg/m<sup>3</sup>'e ve 1.8 gr/cm<sup>3</sup>'de yüzen pomza numunesi için ise 750 kg/m<sup>3</sup>'e ulaşmaktadır. 1.8 gr/cm<sup>3</sup>'de batan pomza numunesinin birim hacim ağırlığı ise bu boyut aralığında elde edilen en yüksek değer olan 910 kg/m<sup>3</sup>'e kadar yükselmektedir.



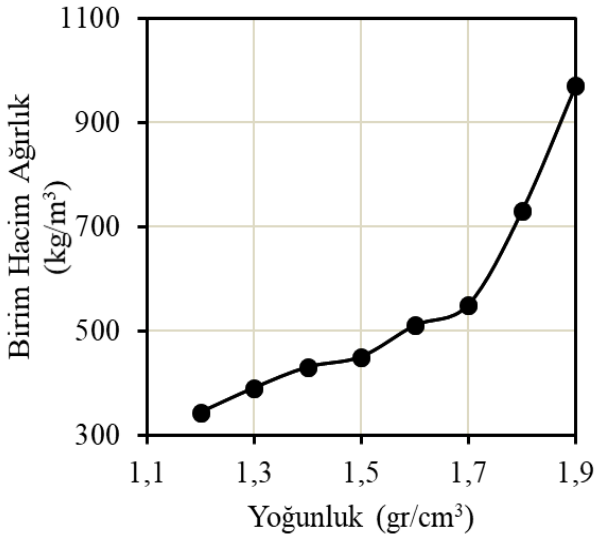
**Şekil 4.** -25+15 mm tane boyutu aralığında sınıflandırılmış pomza numunesinin yoğunluğa dayalı birim hacim ağırlık değerleri

### 3.3. -15+10 mm tane boyutlu pomza numunesinin yoğunluğa dayalı kuru birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi

Tablo 4 ve Şekil 5'de verilen sonuçlara göre küçülen tane boyut dağılımı ile birlikte pomza numunelerinin gözeneklilik oranları azalmakta, böylece daha iri boyutlara kıyasla 1.2 gr/cm<sup>3</sup> ve 1.3 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen ürün olarak elde edilen pomza numunesinin miktarı azalmaktadır. 1.2 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklu çinko klorür çözeltisinde beslemenin yalnızca %12'si yüzen ürün olarak alınırken, bu değer 1.3 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk için yaklaşık olarak %6.2'ye çıkmaktadır. Belirtilen yoğunluklar için birim hacim ağırlıkları ise sırasıyla 343 kg/m<sup>3</sup> ve 390 kg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Daha iri tane boyutlarında sınıflandırılan pomza numunelerinin birim hacim değerlerinde olduğu gibi, -15+10 mm tane boyutunda sınıflandırılmış pomza numunesinin birim hacim ağırlığı değerleri de yoğunlukla doğru orantılı olarak artmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre %12.5'i 1.6 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklu çinko klorür çözeltisinde yüzen ürün olarak alınan pomza numunesinin birim hacim ağırlığı 510 kg/m<sup>3</sup> iken, bu değer 1.8 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yüzen pomza numunesi için 730 kg/m<sup>3</sup>'e çıkmaktadır.

**Tablo 4.** -15+10 mm tane boyutu aralığında sınıflandırılmış pomza numunesinin yüzdürme-batırma test sonuçları

	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)
Yüzen	1.2	1.18
1.2 - 1.3		6.15
1.3 - 1.4		12.76
1.4 - 1.5		22.13
1.5 - 1.6		12.52
1.6 - 1.7		6.17
1.7 - 1.8		3.99
1.8	Batan	35.10
	Besleme	100.00



Şekil 5. -15+10 mm tane boyutu aralığında sınıflandırılmış pomza numunesinin yoğunluğa dayalı birim hacim ağırlık değerleri

### 3.4. -10+4.75 mm tane boyutlu pomza numunesinin yoğunluğa dayalı kuru birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi

Pomzaların tane boyutları küçüldükçe ilişkili gang minerallerinden serbestleşme dereceleri artmaktadır. Ancak bu durum, özellikle pomza tanelerinin çoğunlukla makro gözeneklerden oluşması durumunda gözeneklilik oranını olumsuz olarak etkilemektedir. -10+4.75 mm pomza numunesi (Tablo 5) kullanılarak elde edilen sonuçlar, besleme numunesinin % 50'den fazlasının 1.4-1.6 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklu çinko klorür çözeltilerinde yüzen malzeme olarak alındığını göstermiştir.

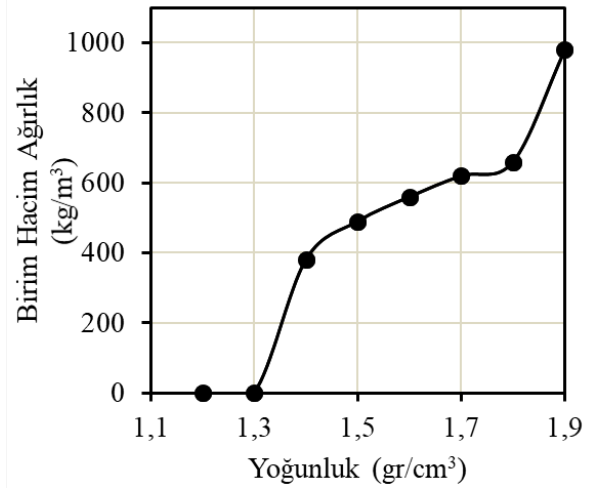
Belirtilen yoğunluklardan daha düşük yoğunluklarda ise yüzen pomza numunesi elde edilemezken, besleme malzemesinin yaklaşık %37'si ise 1.8 gr/cm<sup>3</sup>lük çinko klorür çözeltilerinde batan malzeme olarak alınmıştır. Bu boyutta en düşük birim hacim ağırlığı 1.4 gr/cm<sup>3</sup>'de yüzen pomza numunesi için 380 kg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).

Tablo 5. -10+4.75 mm tane boyutu aralığında sınıflandırılmış pomza numunesinin yüzdürme-batırma test sonuçları

Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık (%)	
Yüzen	1.2	0
1.2 - 1.3	0	
1.3 - 1.4	0.95	
1.4 - 1.5	10.88	
1.5 - 1.6	37.98	
1.6 - 1.7	5.33	
1.7 - 1.8	7.89	
1.8	Batan	36.97
Besleme	100.00	

### 3.5. Termal iletkenlik analizleri

Yapı blokları üretiminde normal agregalar yerine pomza, perlit vb. gözenekli minerallerin kullanımı ile hafif normal agregalarla üretilmiş yapı bloklarıyla karşılaştırıldığında hem ağırlık bakımında hem de termal yalıtım açısından çeşitli avantajların sağladığı bilinmektedir [13-16]. Ancak, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen yüzdürme-batırma test sonuçlarına göre pomza aynı ocaktan üretimi gerçekleştirilmiş numunede her bir dar tane boyutu aralığında farklı yoğunluklara sahip pomza tanelerinin bulunduğu görülmüştür.



Şekil 6. -10+4.75 mm tane boyutu aralığında sınıflandırılmış pomza numunesinin yoğunluğa dayalı birim hacim ağırlık değerleri

Bu bağlamda çalışmanın bu aşamasında 1.2-1.8 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk aralığında 0.2 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluk artış oranlarına sahip 4 farklı pomza numunesi öncelikle ayrı ayrı -16 mm tane boyutuna kırılmış ve sonrasında -16+8 mm, -8+4 mm ve -4 mm tane boyutu aralıklarında sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan pomza numuneleri ve katkı maddeleri Tablo 6'da verilen oranlar sabit tutularak karıştırma işlemine tabi tutulmuştur.

Tablo 6. Hazırlanan yapı bloklarında kullanılan pomza ve katkı maddelerinin miktarları.

İçerik	Ağırlık (%)
-16+8 mm pomza numunesi	20
-8+4 mm pomza numunesi	50
-4 mm pomza numunesi	17
Çimento	8
Su	5

Elde edilen homojen karışım 10x10x10 cm<sup>3</sup> hacimli kalıplara aktarılmıştır. Daha sonra kalıplara 25 MPa basınç altında sıkıştırma işlemi uygulanmış ve kalıplardan çıkarılan yapı blokları kurumaya bırakılmıştır (Şekil 7).

Sonuçların yorumlanmasında  $mW/m^*K$  birimli Lambda değerleri dikkate alınmış, kuruma işlemleri sonrasında analizlere tabi tutulan yapı bloklarının termal iletkenlik değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Sonuçlara göre en yüksek termal iletkenlik veriminin, deneysel çalışmalarda kullanılan en düşük yoğunluk ( $1.2 \text{ gr/cm}^3$ 'de yüzen) değerine sahip pomzaların kullanımı ile sağlandığı, artan pomza yoğunluğu ile birlikte termal iletkenlik değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu değer  $1.2 \text{ gr/cm}^3$  çinko klorür çözeltisinde yüzen pomza numunesi için  $134.6 \text{ mW/m}^*K$  iken, artan yoğunluk ile kademeli olarak artarak  $1.4 \text{ gr/cm}^3$ 'de yüzen pomza numunesi için yaklaşık  $147 \text{ mW/m}^*K$ 'ya ve  $1.8 \text{ gr/cm}^3$  yoğunlukta yüzen pomza numunesi için yaklaşık  $197 \text{ mW/m}^*K$ 'ya çıkmaktadır.



**Şekil 7.** Pomza numuneleri kullanılarak hazırlanan yapı blokları.

**Tablo 7.** Yapı bloklarının termal iletkenlik değerleri.

İçerik	Termal iletkenlik ( $mW/m^*K$ )
-1.2 $\text{gr/cm}^3$ pomza	134.6
-1.4+1.3 $\text{gr/cm}^3$ pomza	146.9
-1.6+1.5 $\text{gr/cm}^3$ pomza	162.3
-1.8+1.7 $\text{gr/cm}^3$ pomza	196.5

#### 4. Tartışma ve Sonuç

-50+4.75 mm boyut aralığında 4 farklı boyutta sınıflandırılmış pomza örnekleri kullanılarak çinko klorür çözeltileri kullanılarak gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli yüzdürme-batırma test sonuçlarına göre  $1.8 \text{ gr/cm}^3$ 'den daha yüksek yoğunluklara sahip numune miktarı her bir dar tane boyut aralığı için % 29-37 arasında değişmiştir.

Azalan tane boyutu ile birlikte pomza tanelerinin gözeneklilik oranları doğru orantılı olarak azalmış, sonuç olarak küçülen tane boyutu ile birlikte  $1.2 \text{ gr/cm}^3$ 'ten daha hafif (yüzen) pomza numunelerinin miktarı da azalmıştır. En iri tane boyutu olan -50+25 mm tane boyutu aralığında  $1.2 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluklu çinko klorür çözeltisinde yüzen pomza miktarı beslemenin yaklaşık %11.2'si iken, küçülen tane boyutu ile birlikte bu değer -25+15mm tane boyutlu pomza numunesi için %7'ye, -15+10mm tane boyutlu pomza numunesi için ise %1'e kadar düşmüştür. 10 mm'den daha küçük tane boyutlarında ise  $1.2-1.3 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluklarda yüzen pomza numunesi elde edilememiştir.

Deneysel sonuçlara göre en düşük birim hacim ağırlık değerleri  $1,2 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluklu çinko klorür

çözeltilerinde yüzen pomza numunelerinden  $350 \text{ kg/m}^3$ 'ten daha düşük değerler olarak elde edilmiş olup, artan pomza yoğunluğu ile kademeli olarak artarak  $1000 \text{ gr/cm}^3$ 'e kadar ulaşmıştır.

Termal iletkenlik analiz sonuçlarına göre ise en iyi termal iletkenlik değerleri en düşük yoğunluklu pomza numuneleri kullanılarak oluşturulan yapı blokları ile elde edilmiştir. Artan pomza yoğunluğu ile termal iletkenlik özelliği artarken, en yüksek termal iletkenlik değeri  $1.8 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluklu çinko klorür çözeltisinde yüzen pomza numunesi ile elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre zenginleştirme işlemleri uygulanarak elde edilecek düşük yoğunluklu pomza numuneleri kullanılarak daha yüksek termal yalıtım özellikleri sunabilecek yapı bloklarının üretilebileceği sonucu çıkarılmıştır.

#### Teşekkür

Deneysel çalışmalarda kullanılan pomza numunesinin temini ve termal iletkenlik ölçümleri için kolaylıklar sağlayan ISBAŞ A.Ş. Genel Müdürü İ.Gürakan'a, deneysel çalışmalar ve numune hazırlama işlemlerinde yardımlarını esirgemen M.A.Türkmen, K.Şimşek ve A.Cerit'e teşekkür ederim.

#### Kaynakça

- [1] Presley, G.C., 2006. Pumice, Pumicite And Volcanic Cinder, Industrial Minerals And Rocks; Commodities, Markets And Uses (7th edition), 743-754.
- [2] Adams, J.A., 1941. Pumice and pumicite, GMI Short Paper, No:6, State of Oregon, Department of Geology and Mineral Industries.
- [3] Ersoy, B., Saruşık, A., Dikmen, S., Saruşık, G., 2010. Characterization of acidic pumice and determination of its electrokinetic properties in water, Powder Technology vol.197, 129-135.
- [4] Karaipekli, A., Sarı, A., 2016. Development and thermal performance of pumice/organic PCM/gypsum composite plasters for thermal energy storage in buildings. Solar Energy Materials & Solar Cells vol.149, 19-28.
- [5] TS 3234/T1, 1983. Bimsbeton yapım kuralları, karışım hesabı ve deney metotları, TSE, Ankara.
- [6] Geitgey, R.P., 1994. Industrial Minerals and Rocks, 6.th Edition, Society for Mining, Metalurgy and Exploration, Inc. Littleton, s.803-813, Colorado.
- [7] Aksay Kilinc, E., 2005. İzmir-menderes yöresi pomza cevherinin kullanımına yönelik teknolojik özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, s.278, İzmir.

- [8] Dinçer, İ., Orhan, A., Çoban, S., 2015. Ahiler Kalkınma Ajansı; Pomza araştırma ve uygulama merkezi fizibilite raporu, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Nevşehir.
- [9] Doğan-Sağlamtimur, N., Güven, A., Bilgil, A., 2018. Physical and mechanical properties of cemented ash-based lightweight building materials with and without pumice, *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2018, Article ID 9368787.
- [10] Gündüz, L., 1998. Pomza Teknolojisi, Cilt 1, 285 s, Isparta.
- [11] Aksay Kılınç, E., Cöcen, İ., Akar, A., 2016. Pomzanın su arıtımında filtre malzemesi olarak kullanımındaki gelişmeler, *DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 36, 63-72.
- [12] Deniz, V., Umucu, Y., Çayırılı, S., 2012. Estimation of the bond grindability index from the sink-float test data of two different particulate pumices, *Particulate Science and Technology*, 30(5), 403-415.
- [13] Karaipekli, A., Sarı, A., 2016. Development and thermal performance of pumice/organic PCM/gypsum composite plasters for thermal energy storage in buildings, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 149, 19-28.
- [14] Uysal, H., Demirboga, R., Sahin, R., Gul, R., 2004. The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregate ratio on the thermal conductivity and density of concrete, *Cement and Concrete Research*, 34(5), 845-848.
- [15] Demirboga, R., Gul, R., The effects of expandad perlite aggregate, silica füme and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete, *Cement and Concrete Research*, 33(5), 723-727.
- [16] Idris, I.H.M., Yusof, N.Z., 2018. Development of low thermal mass cement-sand block utilizing peat soil and effective microorganism, *Case Studies in Construction materials* 8, 8-15.



## İstanbul ve Eskişehir Bölgesi Minimum-Maksimum Yağış Miktarlarının Ekstrem Değerler Dağılımları Ailesi ile Modellenmesi

Mustafa ÇAVUŞ<sup>\*1</sup>, Özer ÖZDEMİR<sup>2</sup>, Ahmet SEZER<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 26555, Eskişehir, Türkiye

<sup>1</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6172-5449>)

<sup>2</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2446-5139>)

<sup>3</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5962-4999>)

(Alınış / Received: 10.04.2018, Kabul / Accepted: 18.12.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 06.03.2018)

### Anahtar Kelimeler

Ekstrem değerler teorisi,  
Parametre tahmini,  
Blok maksimum yöntemi,  
Fitdistrplus

**Özet:** Ekstrem (uç) olaylar doğada az olasılıkla ortaya çıkmakla birlikte, ortaya çıktıklarında etki alanları hem ekonomik hem de çevresel olarak büyük olmaktadır. Bu yüzden bu tür olayların hangi olasılıkla ortaya çıkabileceği, bu konuda alınması gereken tedbirlerin neler olması gerektiği konusunda belirleyici olmaktadır. Ekstrem(uç) değerler dağılımları ailesindeki dağılımların parametrelerinin doğru belirlenmesi ekstrem olasılıkların doğru hesaplanmasına katkıda bulunacaktır. Literatürdeki Weibull, Frechet, Gumbell dağılımlarına ilişkin parametreler R programında yer alan *fitdistrplus* fonksiyonu kullanılarak elde edilecektir. Bu çalışmada ülkemiz nüfusunun yoğun olarak bulunduğu İstanbul bölgesi ve Eskişehir bölgesindeki maksimum ve minimum yağış miktarlarının dağılımı blok maksimum yöntemi kullanılarak araştırılacaktır. Bu dağılımlardan elde edilecek sonuçlar, potansiyel risklere ve fırsatlara karar verilmesine yardımcı olacaktır.

## Modelling of Maximum and Minimum Rainfall of Istanbul and Eskisehir Region by the Family of Extreme Value Distributions

### Keywords

Extreme value theory,  
Parameter estimation,  
Block maxima,  
Fitdistrplus

**Abstract:** Extreme events are rarely occurred but once they appear they may end up with serious consequences as both economic and environmental areas. There is no question that it is important to predetermine consequences of this kind of events. To determine possible consequences, we should accurately decide the parameters of the family of extreme value distributions. The parameters of Weibull, Frechet and Gumbell distributions in the literature will be obtained by using *fitdistrplus* package in R. In this study, the distribution of maximum and minimum precipitation of Istanbul which has high population rate in our country and Eskisehir region will be investigated by using block maximum. The results which will be obtained from these distributions will help us to determine the potential risks and opportunities.

### 1. Giriş

Uç (Ekstrem) olaylar çoğunlukla beklenmeyen, olağandışı, nadir olarak gözlemlenebilen olaylardır. Ancak birçoğu önemli sonuçlar doğurabilecek niteliktedir. Uç olayların ortaya çıkabilme ihtimalinin hesabı birçok disiplin için oldukça önemlidir. Uç olaylar sonucu ortaya çıkan uç değerler ise, bir veri seti içerisindeki en büyük ya da en küçük değerlerdir.

Uç olayların ihtimallerini hesaplamak, birçok bilim dalı için çok önemlidir. Uç değerler teorisi ilk olarak Frechet [1] tarafından 1927 yılında oluşturulmaya başlanmış ve bir yıl sonra Fisher ve Tippet [2] tarafından 1928 yılında yayımlanan makale ile geliştirilmiştir. Gnedenko [3] tarafından 1943 yılında

yapılan çalışmalara ek olarak, E. J. Gumbel [4] teoriyi pekiştirmiştir.

Uç değerler teorisi birçok alanda kendine uygulama bulmuş olan bir teodir. Başlıca uygulama alanları hidroloji [5, 7], finans [8, 9], telekomünikasyon ve uç olaylarla ilgili tüm alanlardır. Uç değerler teorisi ve uygulama alanları ile ilgili yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir.

1928 yılındaki çalışmasında Fisher-Tippet, uç değerler teorisinde üç tür limit dağılımı olduğunu [2], Weibull [10] ve Gumbel [11] ise uç değerler teorisinin uygun dağılımlara bağlı olarak modellenebileceğini göstermiştir.

\*İlgili yazar: [mustafacavus@eskisehir.edu.tr](mailto:mustafacavus@eskisehir.edu.tr)

Stephens [12] hazırladığı teknik raporda ekstrem(uç) değer dağılımının uygunluk testlerini incelemiştir. Öncelikle en çok olabilirlik yöntemi ile parametre tahmini göstermiş, sonrasında ise tahmin edilen parametreler üzerinden çeşitli uygunluk sınamalarını denemiştir. Sukhatme [13], Durbin [14] ve Stephens [15] testleri ele alınarak bir Monte Carlo simülasyon çalışması yapılmıştır. Çalışma sonucunda Stephens testinin limit dağılımının daha hızlı yakınsama sonuçları verdiği görülmüştür.

Gençay ve Selçuk [16] gelişmekte olan 9 farklı piyasaya ait günlük borsa getirilerini incelemiş, varyans-kovaryans ve benzetim yöntemlerinden faydalanarak uç değerler teorisi ile VaR tahminlerini elde etmişlerdir.

Gilli ve Kellezi [17] kuyruk riski ölçümlerinin ve ilgili güven aralıklarının hesaplanmasında birçok borsa verisi üzerinde inceleme yapmışlardır.

Goncu vd. [18] IMKB verilerini UDK yardımıyla modellemiş ve modellemede Gumbel, Frechet ve Weibull dağılımlarından yararlanılarak VaR hesaplamış ve geriye dönük test sonuçlarını incelemişlerdir.

Ferreira ve Hann [19] çalışmasında Blok maksimum yöntemi üzerinde, eşik değer yöntemine göre daha az çalışma yapıldığı vurgusu yapılmıştır. Bu yüzden çalışmalarında bu iki ekstrem değer belirleme yönteminin teorik bir karşılaştırmasını yapmıştır. Bu karşılaştırmayı yapabilmek için ise tahmin yöntemi olarak 1985 yılında Hosking, Walls ve Wood tarafından ortaya atılan Olasılıksal Ağırlıklandırılmış Moment tahminini kullanmıştır [20]. Çalışmanın sonucunda Blok maksimum yönteminin Eşik değer yöntemine göre daha etkin bir yöntem olduğunu gözlemlemiştir. Miroslava [6] Belgrad şehrindeki yıllık maksimum yağış miktarlarını modellediği çalışmasında mevsimsel özellik gösteren verilerde blok maksimum yönteminin eşiği aşan değerler yöntemine göre ekstrem değerleri belirlemede daha etkin sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu nedenle çalışmada Blok Maksimum (BM) yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada amaç doğada az olasılıkla ortaya çıkan ancak etki alanları hem ekonomik hem de çevresel olarak büyük olan, ülkemiz nüfusunun yoğun olarak yaşadığı İstanbul bölgesi ve Havacılık etkinliklerinin yoğun olduğu Eskişehir bölgesindeki ekstrem yağış miktarlarının BM yöntemi kullanılarak Ekstrem Değerler Ailesi dağılımları ile modellenmesidir. Özellikle Eskişehir bölgesi için böyle bir araştırma yapılmamış olması ve diğer çalışmalardan farklı olarak maksimum yağış miktarlarının yanı sıra minimum yağış miktarlarının da araştırılması bu çalışmanın ayırt edici özelliklerindedir.

Çalışmanın izleyen bölümlerinde sırasıyla, kullanılan metodlar tanıtılmış, sonrasında uygulama

çalışmasına yer verilmiş ve bulgular, Tartışma ve Sonuç bölümünde açıklanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Ekstrem Değer Teorisi, temellerini Fisher-Tippett [2], Gnedenko [3] ve Gumbel [4] çalışmalarından alan sıra istatistiğine dayalı bir istatistiksel yaklaşımdır. Rassal değişkenlerin modellenmesi sürecinde Merkezi Limit Teoremi'nin oynadığı rolü, rassal değişkenlerin ekstrem değerleri modellendiği zaman yerini Ekstrem Değer Teorisi'ne bırakır [16]. Her iki teori de, limit dağılımlarının nasıl olması gerektiği üzerinde durur.

Araştırma konusuna uygun olarak ekstrem değerleri elde etmek için sık kullanılan iki yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden uygulamada kullanılan, alt örneklem grupları üzerinden çalışan BM yöntemine izleyen bölümde yer verilmiştir.

### 2.1. Blok maksimum yöntemi

BM yöntemi ile araştırma konusuna uygun olarak belirlenen alt örneklere ait ekstrem değerler elde edilir ve işlemlere bu değerler üzerinden devam edilir.

BM yöntemi ile elde edilen ekstrem değerlerin limit dağılımı Fisher ve Tippett [2] teoremi ile açıklanır.

*Teorem (Fisher-Tippett):* Veri seti  $n$  birimlik alt örneklere ayrılınsın. Bu alt örneklere elde edilen ekstrem değerler  $M_n$  ile gösterilsin. Bu durumda  $X_n, F$  dağılımı ile bağımsız aynı dağılmış, rassal değişkenlerin bir dizisidir ve  $M_n = \max(X_1, X_2, \dots, X_n)$  olsun.

$$\frac{M_n - d_n}{c_n} \xrightarrow{d} H \quad (1)$$

olacak şekilde  $c_n > 0, d_n \in \mathcal{R}$  sabitleri ve  $H$  dejenere olmayan dağılım fonksiyonu varsa bu durumda  $H$  aşağıdaki üç ekstrem dağılımdan birine aittir. Bu üç ekstrem dağılımın birikimli dağılım fonksiyonları sırasıyla Frechet, Weibull ve Gumbel [1, 9, 10] olmak üzere aşağıdaki gibidir:

$$F_\alpha(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ e^{-x^{-\alpha}} & x > 0, \alpha > 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$W_\alpha(x) = \begin{cases} e^{-(x)^\alpha} & x \leq 0 \\ 1 & x > 0, \alpha < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$G(x) = e^{-e^{-x}}, x \in \mathcal{R} \quad (4)$$

Bu üç ekstrem dağılım birbiri cinsinden rahatlıkla ifade edilebilmektedir. Birbiri cinsinden yazılabilmeleri bu üç ekstrem dağılımın bir dağılım ailesi olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır.  $X \sim F_\alpha$  dağılımına sahip olduğunda  $\ln X^\alpha \sim G$  dağılımına

uyarken  $1/X \sim W_\alpha$  dağılıma uyar. Jenkinson-von Mises gösteriminden yola çıkarak Genelleştirilmiş Ekstrem Dağılımını ortaya atmışlardır [2]. Bu dağılım bahsedilen üç ekstrem dağılımın genel bir gösterimi olarak da düşünülebilir. Bu dağılıma ait birikimli dağılım fonksiyonu;

$$E_z(x) = \begin{cases} e^{-(1+zx)^{-1/z}}, & z \neq 0 \\ e^{-e^{-x}}, & z = 0 \end{cases}, 1 + zx > 0 \quad (5)$$

Genelleştirilmiş Ekstrem Dağılımının diğer dağılımlara dönüşümü ise şu şekildedir;

- $z = \alpha^{-1}$  alınırsa  $E_z(x) \sim F_\alpha$  dağılımına ( $\alpha^{-1} > 0$ )
- $z = -\alpha^{-1}$  olarak alınırsa  $E_z(x) \sim W_\alpha$  dağılımına ( $-\alpha^{-1} < 0$ )
- $z = 0$  olarak alınırsa  $E_z(x) \sim G$  dağılımına

dönüştürülmüş olur.

Bu dağılımda  $z$  değişkeni şekil parametresidir ve dağılımın kuyruk davranışını belirler. Ayrıca  $\alpha = 1/z$  kuyruk indeksi olarak da bilinir. Kuyruk davranışlarına göre dağılımlar şu şekilde sınıflandırılabilir;

- Eğer birikimli dağılım fonksiyonu  $F$  üstel olarak azalıyor  $E_z \sim \Lambda$ , Gumbel dağılımına uyar ve  $z = 0$ , şekil parametresi sıfırdır. Gumbel dağılımı tipindeki dağılımlar, Normal, Log-normal, Üstel ve Gamma dağılımları gibi ince kuyruklu dağılımlardır.
- Eğer birikimli dağılım fonksiyonunun kuyruğu bir kuvvet fonksiyonuna göre azalıyor  $E_z \sim F_\alpha$ , Frechet dağılımına uyar ve  $z > 0$  şekil parametresi sıfırdan büyüktür. Frechet dağılımı benzeri dağılımlar, Pareto, Cauchy ve Student-t dağılımları gibi kalın kuyruklu dağılımlardır.
- Birikimli dağılım fonksiyonunun kuyruğu sonlu ise  $E_z \sim W_\alpha$ , Weibull dağılımına uyar ve şekil parametresi  $z < 0$ , sıfırdan küçüktür. Weibull dağılımına benzer dağılımlar Düzgün ve Beta dağılımı tipindeki dağılımlardır [15].

### 3. Bulgular (Eskişehir ve İstanbul Bölgelerine ait Yıllık Maksimum ve Minimum Yağış Miktarları Analizi)

Çalışmanın bu bölümünde 1960-2015 yılları arasında Eskişehir ve 1965-2015 arasında İstanbul-Kartal bölgesinde meydana gelen aylık toplam yağış miktarları (mm) ele alınmıştır. Blok maksimum yöntemi kullanılarak her yıl meydana gelen en yüksek (maksimum) ve en düşük (minimum) yağış miktarları belirlenerek en uygun ekstrem değerler ailesi dağılımları ile modellenmiştir. Tablo 1'de blok maksimum yöntemi ile elde edilen maksimum ve

minimum yağış miktarlarından oluşan veriye ilişkin betimleyici istatistikler verilmiştir.

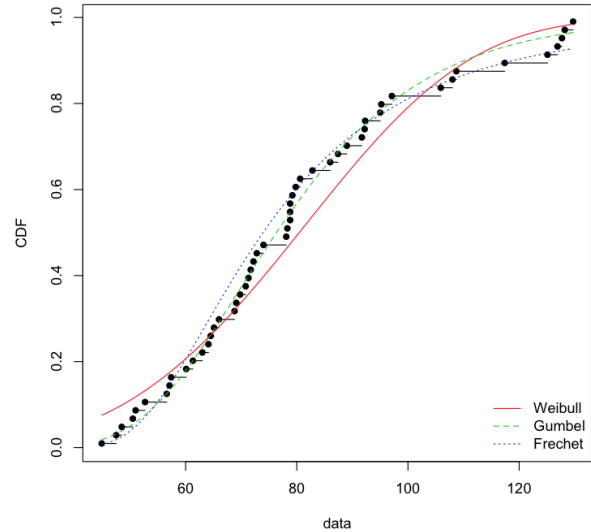
Tablo 1'de görüldüğü gibi İstanbul-Kartal bölgesi Eskişehir bölgesine göre ortalama olarak daha fazla yağış almaktadır.

**Tablo 1.** Eskişehir ve İstanbul-Kartal bölgeleri için betimleyici istatistikler

	Esk. Maks.	Esk. Min.	İst. Maks.	İst. Min.
N	52	52	47	47
Min	44.90	0	80.30	0
1. Kantil	64.40	0.55	107.40	0.55
Medyan	78.20	1.80	132	2.90
Ortalama	80.18	3.07	135.40	4.12
3. Kantil	92.22	4.30	154.50	6.70
Maks.	129.70	11.70	222.90	20.60

Bölgelerin maksimum ve minimum yağış miktarları R programında yer alan *fitdistrplus* paketi kullanılarak modellenmiştir [21]. Bu paket kullanıcılara ekstrem değerler ailesindeki dağılımların parametre tahminlerini ve farklı modellerin birbirleri ile karşılaştırılmasında kullanılan Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayes Bilgi Kriteri (BIC) hesaplamasına yardımcı olmaktadır.

Şekil 1'de Eskişehir bölgesinde gerçekleşen maksimum yağış miktarları için Weibull, Gumbel ve Frechet dağılımları birikimli dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması verilmiştir. Görüldüğü gibi Gumbel ve Frechet dağılımları Weibull dağılımına göre veriye daha iyi uyum göstermişlerdir.

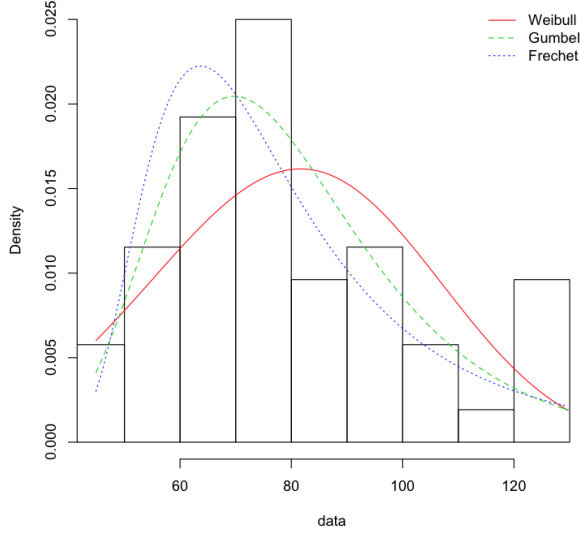


**Şekil 1.** Eskişehir bölgesi maksimum yağış miktarları için kümülatif dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması

Şekil 2'de ise yoğunluk fonksiyonlarının karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 1'de ki gibi Gumbel ve Frechet dağılımları veriye daha iyi uyum göstermiştir.

Şekil 1 ve 2'de elde edilen bulgular sayısal değerler veren AIC ve BIC kriterleri ile de karşılaştırılmalıdır.

Tablo 2’de Eskişehir bölgesi maksimum yağış miktarları Weibull, Gumbel ve Frechet dağılımları için model uygunluk kriterleri verilmiştir. Bu kriterler oluşturulan modellerin veriye olan uyumsuzluk değerleri olarak yorumlanır. Kriterlerin küçük değerleri ilgili modelin veriye daha uygun olduğunu gösterir. Görüldüğü gibi Şekil 1 ve 2’de elde edilen bulgular kriterler ile de desteklenmektedir ve en uygun model Gumbel dağılımıdır.



**Şekil 2.** Eskişehir bölgesi maksimum yağış miktarları için dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması

**Tablo 2.** Eskişehir bölgesi maksimum yağış miktarları için model uygunluk kriterleri

	AIC	BIC
Weibull	476.7821	480.6846
Gumbel	468.9486	472.8511
Frechet	472.6580	476.5605

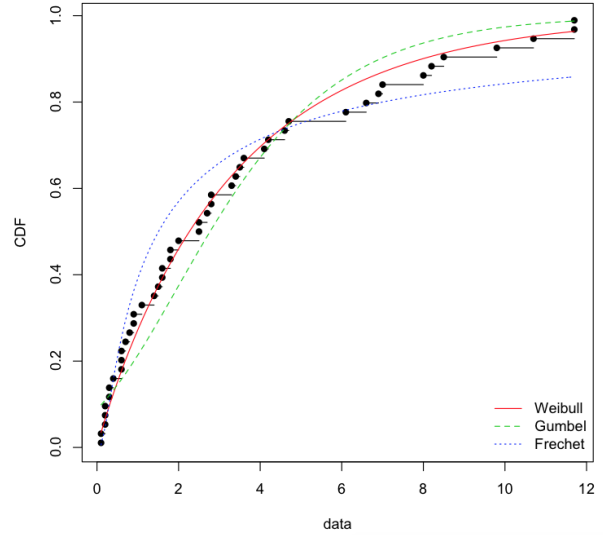
Şekil 3’te ise Eskişehir bölgesi maksimum yağış miktarları için Weibull, Gumbel ve Frechet kümülatif dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması verilmiştir. Görüldüğü gibi Gumbel dağılımı diğer dağılımlara göre veriye daha iyi uyum göstermişlerdir. Eskişehir bölgesi maksimum yağış miktarları için Gumbel dağılımı parametre tahminleri Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 3.** Eskişehir bölgesi maksimum yağış miktarları için Gumbel dağılımı parametre tahminleri

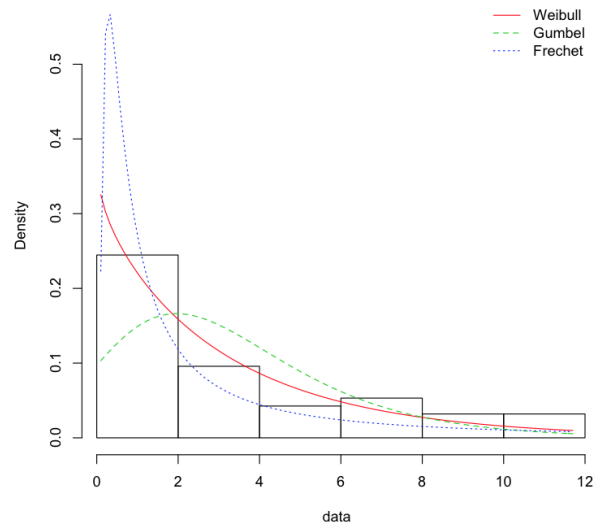
	Tahmin değeri	Standart hata
Şekil	69.732	0.385
Ölçek	17.991	3.484

Şekil 4’te Eskişehir bölgesi minimum yağış miktarları için Weibull, Gumbel ve Frechet yoğunluk fonksiyonlarının karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 1’de ki gibi Gumbel ve Frechet dağılımları veriye daha iyi uyum göstermiştir. Tablo 4’te verilen uyum iyiliği kriterlerine göre en uygun dağılım Weibull dağılımıdır.

Eskişehir bölgesi minimum yağış miktarları için Weibull dağılımı parametre tahminleri Tablo 3’te verilmiştir.



**Şekil 3.** Eskişehir bölgesi minimum yağış miktarları için kümülatif dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması



**Şekil 4.** Eskişehir bölgesi minimum yağış miktarları için dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması

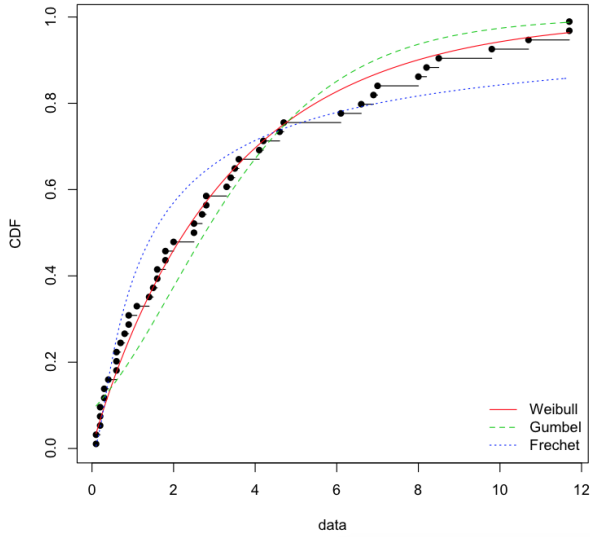
**Tablo 4.** Eskişehir bölgesi minimum yağış miktarları için model uygunluk kriterleri

	AIC	BIC
Weibull	212.7494	216.4497
Gumbel	233.6865	237.3868
Frechet	229.1160	232.8163

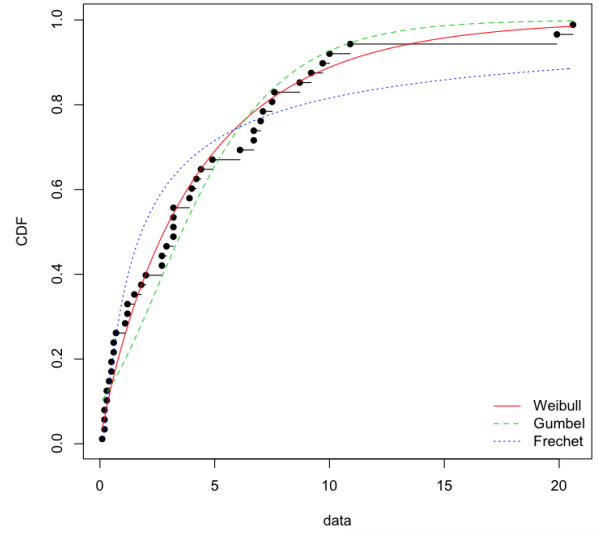
**Tablo 5.** Eskişehir bölgesi minimum yağış miktarları için Weibull dağılımı parametre tahminleri

	Tahmin değeri	Standart hata
Şekil	0.953	0.111
Ölçek	3.325	0.536

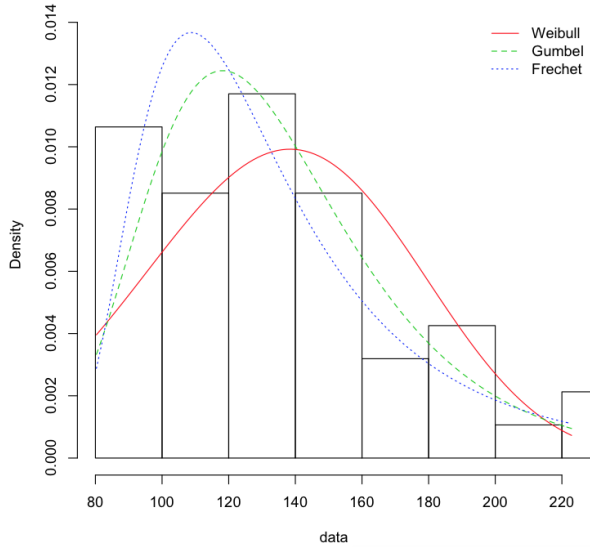
Şekil 5 ve 6’da İstanbul-Kartal bölgesi maksimum yağış miktarları için sırasıyla kümülatif dağılım ve dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması verilmiştir. Gumbel dağılımı Tablo 6’da verilen kriter değerlerine göre de en uygun dağılımdır. İstanbul-Kartal bölgesi maksimum yağış miktarları için Gumbel dağılımı parametre tahminleri Tablo 7’de verilmiştir.



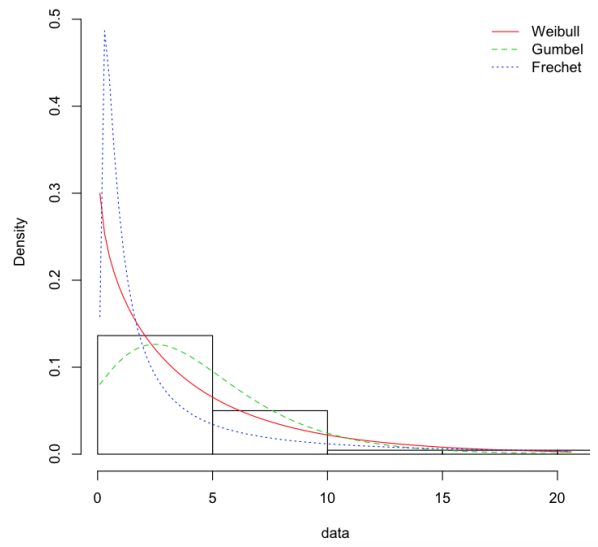
Şekil 5. İstanbul-Kartal bölgesi maksimum yağış miktarları için kümülatif dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması



Şekil 7. İstanbul-Kartal bölgesi minimum yağış miktarları için kümülatif dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması



Şekil 6. İstanbul-Kartal bölgesi maksimum yağış miktarları için dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması



Şekil 8. İstanbul-Kartal bölgesi minimum yağış miktarları için dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması

Tablo 6. İstanbul-Kartal bölgesi maksimum yağış miktarları için model uygunluk kriterleri

	AIC	BIC
Weibull	477.5685	481.2688
Gumbel	471.0467	474.7470
Frechet	473.4729	477.1732

Tablo 7. İstanbul-Kartal bölgesi maksimum yağış miktarları için Gumbel dağılımı parametre tahminleri

	Tahmin değeri	Standart hata
Şekil	118.126	4.526
Ölçek	29.442	3.404

Şekil 7 ve 8'de ise İstanbul-Kartal bölgesi minimum yağış miktarları için sırasıyla kümülatif dağılım ve dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması verilmiştir. Weibull dağılımı Tablo 8' de verilen kriter değerlerine göre de en uygun dağılımdır. İstanbul-Kartal bölgesi minimum yağış miktarları için Weibull dağılımı parametre tahminleri Tablo 9' da verilmiştir.

Tablo 8. İstanbul-Kartal bölgesi minimum yağış miktarları için model uygunluk kriterleri

	AIC	BIC
Weibull	221.5973	225.1657
Gumbel	243.6320	247.2004
Frechet	235.6067	239.1751

Tablo 9. İstanbul-Kartal bölgesi minimum yağış miktarları için Weibull dağılımı parametre tahminleri

	Tahmin değeri	Standart hata
Şekil	0.901	0.107
Ölçek	4.188	0.738

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi Eskişehir ve İstanbul-Kartal bölgeleri için elde edilen maksimum ve minimum yağış miktarlarının dağılımları farklılık göstermektedir. İstanbul bölgesinin, Eskişehir bölgesine göre daha fazla yağış aldığı maksimum ve

minimum yağış dağılımlarından gözlemlenebilmektedir.

Çalışmada Ekstrem değerler teorisine uygun olarak ele alınan bölgelerin maksimum ve minimum yağış miktarı verilerine Weibull, Gumbel ve Frechet dağılımları arasından en iyi modelleyen dağılım R yazılımında yer alan *fitdistrplus* paketi kullanılarak araştırılmıştır.

Hangi dağılımların maksimum ve minimum verilerine uygun olduğunun belirlenmesi için kümülatif dağılım fonksiyonları ve dağılım fonksiyonları karşılaştırılmasının yanı sıra Akaike ve Bayes Bilgi kriterleri hesaplanmıştır. Böylelikle görsel araçların yanı sıra uyum iyiliği ölçüleri de kullanılmıştır. Uygun dağılım belirlendikten sonra dağılımın parametre tahminleri ve tahminlere ilişkin standart hatalar verilmiştir.

Eskişehir bölgesi maksimum ve minimum yağış miktarlarının modellenmesi için uygun dağılımın Weibull dağılımı olduğu belirlenmiştir.

İstanbul-Kartal bölgesi maksimum yağış miktarlarının modellenmesi için uygun dağılımın Gumbel dağılımı olduğu belirlenmiştir. İstanbul bölgesi minimum yağış miktarlarının modellenmesi için, Eskişehir bölgesiyle uyumlu olarak Weibull dağılımının en uygun dağılım olduğunu göstermiştir.

Ekstrem (maksimum ve minimum) yağış miktarları nadiren ortaya çıkmakla birlikte, ortaya çıktıklarında ağır ekonomik ve çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu çalışmada bu tür olayların hangi sıklıkla ortaya çıktıkları uygun dağılımlar belirlenerek ortaya konmuştur. Bu çalışmayı literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalardan ayıran özelliği Eskişehir ve İstanbul-Kartal bölgelerinin ekstrem yağış miktarlarını, Ekstrem Değerler Ailesi dağılımları ile modelleyen ilk çalışma olmasıdır.

Sonuç olarak, Eskişehir ve İstanbul-Kartal bölgelerinin minimum yağış miktarları için Weibull, maksimum yağış miktarları için Gumbel dağılımının daha iyi uyum sağladığı belirlenmiştir.

### Teşekkür

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi tarafından 1502F066 nolu Bilimsel Araştırma projesi ile desteklenmiştir.

### Kaynaklar

- [1] Frechet, M. R. 1927. Sur la loi de probabilit de l'ecart maximum, Ann. Soc. Polon. Math. (Cracovie), 6, 93-116.
- [2] Fisher, R. A., Tippett, L. H. C. 1928. Limiting forms of the frequency distribution of the largest

or smallest member of a sample. Proceeding of Cambridge Philosophical Society, (1928).

- [3] Gnedenko, B. 1943. Sur La Distribution Limite Du Terme Maximum D'Une Serie Aleatoire. Annals of Mathematics. Second Series, Vol. 44, No. 3(1943), 423-453.
- [4] Gumbel, E. 1958. Statistics of Extremes. Colombia University Press. New York.
- [5] Davison, A. C. and Smith, R. L. 1990. Models for Exceedances over High Thresholds, Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 52, (3), pp. 393-442.
- [6] Miroslava, U. 1992. The extreme value distribution of rainfall data at Belgrade, Atmosfera, 5, pp.47-56.
- [7] S.G. Coles, J.A. Tawn (1996), Modeling extremes of the areal rainfall process J. Roy. Stat. Soc., Ser. B, 58, pp. 329-347.
- [8] McNeil A. J. 1999. Extreme Value Theory for Risk Managers, in Internal Modelling and CAD II, 93-113.
- [9] Embrechts, P. 1998. Modelling Extremal Events for Insurance and Finance. Springer. Newyork.
- [10] Weibull, W. 1939. A Statistical Theory of The Strength of Material. Proc. Royal Swedish Institute Engineering Research151:1.
- [11] Gumbel, E. J. 1941. "The return period of flood flows": Annals of Mathematical Statistics v. 12, no. 2, 163-190.
- [12] Stephens, M. 1977. Goodness-of-fit for the Extreme Value Distribution, Technical Report for the U.S. Army Research Office.
- [13] Sukhatme, S. 1972. Fredholm Determinant of a Positive Definite Kernel of a Special Type and Its Application, Ann. Math. Statist., Volume 43, Number 6 (1972), 1914-1926.
- [14] Durbin, J. 1973. Weak Convergence of the Sample Distribution Function when Parameters are Estimated. Ann. Statist. 1, no. 2, 279-290.
- [15] Stephens, M. 1976. Asymptotic Results for Goodness-of-Fit Statistics with Unknown Parameters. Ann. Statist. 4, no. 2, 357-369.
- [16] Gençay, R., Selçuk F. 2004. Extreme value theory and Value-at-Risk:Relative performance in emerging markets. International Journal of Forecasting.
- [17] Gilli, M., Kellezi, E. 2006. An Application of Extreme Value Theory for Measuring Risk, Computational Economics, pp.207-228.
- [18] Goncu A., Akgul A.K., Imamoğlu O., Tiryakioğlu M. 2012. An analysis of the Extreme Returns Distribution: The Case of the Istanbul Stock

- Exchange, Applied Financial Economics, vol 22, 723-732.
- [19] Ferreira, A.,Hann, L.D. 2015. On the Block Maxima Method in Extreme Value Theory: PWM Estimators, The Annals of Statistics, vol.43, pp.276-298.
- [20] J. R. M. Hosking, J. R. Wallis and E. F. Wood. 1985. Technometrics Vol. 27, No. 3 (Aug., 1985), pp. 251-261.
- [21] Marie Laure Delignette-Muller, Christophe Dutang. 2015. fitdistrplus: An R Package for Fitting Distributions. Journal of Statistical Software, 64(4), 1-34.

## Delme Hızının Akışkan Ortam Basıncı ve Dönme Hızına Bağlı Değişiminin Araştırılması

İksan TUNCER\*<sup>1</sup>, Raşit ALTINDAĞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, Emlak ve Kamulaştırma Şube Müdürlüğü, 32200, Isparta

<sup>1</sup>(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-7627-9907)

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

<sup>2</sup>(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-5397-7312)

(Alınış / Received: 18.04.2018, Kabul / Accepted: 19.12.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 06.03.2019)

### Anahtar Kelimeler

Delme hızı,  
Delinebilirlik,  
Kireçtaşı

**Özet:** Bir maden işletmesinde maliyet teşkil eden parametrelerin başında hammadde temini gelmektedir. Hammadde üretim maliyetlerinin en önemli parametrelerinden biri de patlatma deliklerinin delinmesi işidir. Delme işlemlerinde istenen verimde çalışılmaması durumunda hem işletmede iş organizasyonu hem de üretim maliyeti önemli ölçüde olumsuz yönde etkilenecektir. Bu çalışmada DSİ 18. Bölge Müdürlüğü'ne ait kireçtaşı ocağında kullanılan Atlas Copco Flexi ROC T35 model delici makineye ait akışkan ortam basıncı ve dönme hızı parametrelerinin değiştirilmesi sonucunda delik delme verimlerine etkisi incelenmiştir. Delik delme hızının belirlenmesi amacıyla Burdur ili, Çavdır ilçesinde bulunan kireçtaşı ocağında çalışılan ortamdaki delik delme süreleri ölçülmüş ve net ve brüt delik delme hızları hesaplanmıştır. Laboratuvar ortamında da kayaların fiziko-mekanik özellikleri ile kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen bütün veriler birlikte değerlendirilerek akışkan ortam basıncı ve dönme hızının delme hızı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak tüm akışkan ortam basınç değerlerinde ve her iki dönme hızında en iyi delik delme hızı 103 rpm dönme hızı değerinde elde edilmiştir.

## Investigation of Change in Drilling Speed Depending on Fluid Ambient Pressure and Rotation Speed

### Keywords

Drilling speed,  
Drillability,  
Limestone

**Abstract:** One of the most costly parameters in a mining operation is the raw material procurment. One of the most important parameters of raw material procurment cost is the drilling of blasting holes. If the drilling operations are not performed at the desired efficiency, both the working organization in business and the production cost will be significantly and adversely affected in the negative direction. In this study, the effect of drilling parameters on the fluid ambient pressure and rotational speed parameters of the Atlas Copco Flexi ROC T35 drilling machine used in the limestone quarry of DSİ 18th Regional Directorate was investigated. In order to determine the drilling speed, the drilling times of the working limestone in the limestone oven at Çavdır county in Burdur province were measured and clear and gross drilling speeds were calculated. The physico-mechanical properties and chemical properties of the rocks were also determined in the laboratory environment. By evaluating all the data together, effect of fluid ambient pressure and rotating speed on drilling speed are examined. As a result, the best drilling speed at all fluid ambient pressure and at both rotational speeds was obtained at a rotational speed of 103 rpm.

### 1. Giriş

Kayaçlarda delme işlemi, madencilik ve inşaat sektöründe birçok amaçla kullanılmaktadır. Delme işlemleri, madencilik sektöründe patlatma işleminin gerçekleştirileceği deliklerin delinmesi için yapılmaktadır. Delme işleminin zorluğu veya kolaylığı

kayacın delinmeye karşı gösterdiği dirence bağlıdır. Bu direnç kayaların fizikomekanik özelliklerinin yanında delinen ortamın jeoteknik özelliklerine ve çalışma parametrelerine göre de değişiklik göstermektedir. Ayrıca kayaların delinebilirliğinde kayacın dokusu, kuvars içeriği, mineral tane boyutu gibi mineralojik ve petrografik özellikleri de etkilidir.



Ocak işletmelerinde maliyeti artıran en önemli parametre hammadde temini için hazırlık ve kazı işlemleridir. Hammadde üretim işlemlerinden delme, patlatma ve nakliye içerisinde maliyetlerin artmasına etken en önemli işlem patlatma deliklerinin delinmesidir. [1]

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerindeki kayaçların delinebilirlik, aşındırıcılık, mekanik ve petrografik özelliklerinin araştırılması, net delme hızı ve bit tüketimi ile ilişkilendirilmesi çalışmalarında tünel güzergahı üzerindeki kazılan formasyonlardan numuneler kullanılmıştır. Kayaçların mekanik özellikleri (Tek eksenli basınç dayanımı, Nokta yük dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ) ve görünür porozite ile delinebilirlik indeksi arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Tek eksenli basınç dayanımı ( $r=0.85$ ), Nokta yük dayanımı ( $r=0.85$ ), Brazilian çekme dayanımı ( $r=0.77$ ), görünür porozite ( $r=0.72$ ) ile delinebilirlik indeksi arasında anlamlı bir ilişki olduğu saptanmıştır. Kayaçların mekanik özellikleri (Tek eksenli basınç dayanımı, Nokta yük dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ) ve görünür porozite ile bit ömrü ile arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Tek eksenli basınç dayanımı ( $r=0.73$ ), Nokta yük dayanımı ( $r=0.63$ ), Brazilian çekme dayanımı ( $r=0.65$ ), bit ömrü ile arasında anlamlı bir ilişki olduğu saptanmıştır. Delinebilirlik indeksi ile bit ömrü arasındaki ise ( $r=0.63$ ) korelasyon değeri ile anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir [2].

Delinebilirlik indeksi ile kayaç özellikleri arasındaki ilişkileri 32 farklı numune için belirlemiştirler (kuvarsit, kireçtaşı, diyabaz, granodiorit, litik arenit, kumtaşı, siyenit, dolomit, porfirik bazalt ve andezit, bazaltik andezit, dolorit, alkali granit, bazalt, andesitik bazalt, traki andezit, dolomitik kireçtaşı, granit, marn). Kayaçların mekanik özellikleri (Schmidt çekiçi sertliği, Brazilian çekme dayanımı, Tek eksenli basınç dayanımı, Shore sertliği ve Nokta yük dayanımı) ile delinebilirlik indeksi arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Tek eksenli basınç dayanımı ( $r=0.71$ ), Schmidt çekiçi sertliği ( $r=0.78$ ), Nokta yük dayanımı ( $r=0.71$ ), Shore sertliği ( $r=0.64$ ) ile delinebilirlik indeksi arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Brazilian çekme dayanımı ( $r=0.55$ ) ile de delinebilirlik indeksi arasında bir ilişki olduğu saptanmıştır [3].

Açık ocaklarda kaya kütlesi delme indeksi (RMDI) değerlerinden delme hızı tahmin edilebilmesini çalışmalarının amacı olmuştur. Çalışmalarında Manyetit ve yan kayaç numunelerini kullanmışlardır. Kayaçların mekanik özellikleri (Schmidt çekiçi sertliği, Elastisite modülü, Brazilian çekme dayanımı, Tek eksenli basınç dayanımı,  $P$  dalgası sismik hız,  $S$  dalgası sismik hız) ve Porozite ile delme hızı arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Brazilian çekme dayanımı ( $r=0.79$ ), Tek eksenli basınç dayanımı ( $r=0.87$ ) ve Schmidt çekiçi sertliği ( $r=0.89$ )  $P$  dalgası sismik hız ( $r=0.79$ ),  $S$  dalgası sismik hız

( $r=0.73$ ), porozite ( $r=0.70$ ) ile delme hızı arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Elastisite modülü ( $r=0.44$ ) ile de delme hızı arasında azda olsa bir ilişki olduğu saptanmıştır [4].

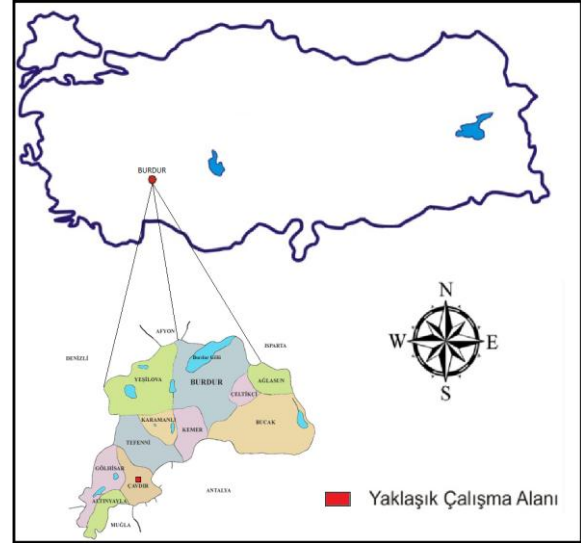
Bu çalışma kapsamında DSİ 18. Bölge Müdürlüğü'nün Burdur ili, Çavdır ilçesinde yapımı gerçekleştirilen Küçükalan Göleti ve Sulaması inşaatı Kireçtaşı ocağında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ocak sahasında gerçekleştirilen patlatma deliği delme hızının delici makine çalışma parametrelerinden olan akışkan ortam basıncı ve dönme hızı değerlerinin değişiminden nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Elde edilen verilerden delme verimi ortaya konulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmada Burdur ili, Çavdır ilçesinde inşaatı tamamlanan Küçükalan Göleti ve Sulaması İnşaatı kireçtaşı ocağında gerçekleştirilmiştir. Ocak sahasında gerçekleştirilen patlatma deliği delme işlemlerinde akışkan ortam basıncı ve dönme hızının, delme hızı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Çalışılan ocak sahasının yer buldurur haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Ocak sahasının yer buldurur haritası [5]

Ocak sahası içerisinde iki farklı formasyon olmasından dolayı ve bu iki formasyonda da delme işlemi gerçekleştirildiğinden delme işlemi gerçekleştirilen lokasyonun birine 1 nolu ocak sahası diğerine ise 2 nolu ocak sahası denilmiştir. Bir ve iki nolu ocak sahaslarının genel görünümü Şekil 2'de verilmiştir.

### 2.1.1. Delici makine

Ocak sahasındaki delik delme işlerinde Atlas COPCO Flexi ROC T35 delici ekipman (Şekil 3) kullanılmıştır.



Şekil 2. 1 ve 2 nolu ocak sahasının genel görünümü [5]



Şekil 3. Atlas Copco Flexi ROC T35 delici makine [6]

Çalışma sahasında gerçekleştirilen delik delme işlemlerinde Atlas Copco'ya ait 89 mm çaplı, 5 kanallı, düz dolaşimli, yarı balistik butonlu, merkezden girintili drop center (DC) delici uç kullanılmıştır (Şekil 4).

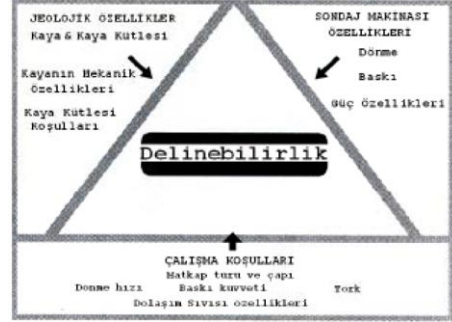


Şekil 4. Çalışmada kullanılan delici uç [6]

## 2.2. Metod

Delinebilirlik; bir matkabın kayacı içinde belirli bir zamanda kayacı delerek ilerlemesidir. Bir diğer ifade ile kaya kütlelerinde delik delme kolaylığıdır. Delme hızı ise kayacı içerisinde, m/dk, cm/dk veya mm/dk olarak ölçülür. Delinebilirlik ile delme hızı aynı kavram olarak tanımlanabilir. Delinebilirlik kolay ya da zor olarak delme hızı ise hızlı ya da yavaş olarak ifade edilir. Delinebilirliğe etki eden birçok parametre vardır. Bunlar; makine ekipmana bağlı parametreler (dönme hızı, baskı kuvveti, matkap tipi v.b.), delme işlemine bağlı parametreler (delme yöntemi, makinanın çalışma performansı ve bakımı, sondörün deneyimi v.b.) ile jeolojik parametrelerdir (kayaçların mekanik özellikleri, süreksizlikler, mineral bileşimi). Makine, ekipman ve delme işlemine bağlı

parametreler kontrol edilebilir parametreler olup, jeolojik özelliklere bağlı parametreler ise kontrol edilemeyen parametrelerdir [7]. Delinebilirliğe etki eden parametreler Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Delinebilirliğe etki eden parametreler [8]

Çalışmada, delme işlemleri esnasında bir basamakta gerçekleştirilen delik delme işlemlerinin yarısı akışkan ortam basıncı 5 bar ve dönme hızı 107 rpm iken gerçekleştirilmiş, aynı basamaktaki kalan delikler ise akışkan ortam basıncı 5 bar ve dönme hızı 103 rpm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Diğer basamakta gerçekleştirilen delik delme işlemlerinin yarısı akışkan ortam basıncı 7 bar ve dönme hızı 107 rpm olarak gerçekleştirilmiş, aynı basamaktaki kalan delikler ise akışkan ortam basıncı 7 bar ve dönme hızı 103 rpm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Diğer basamakta gerçekleştirilen delik delme işlemlerinin yarısı akışkan ortam basıncı 9 bar ve dönme hızı 107 rpm olarak gerçekleştirilmiş, aynı basamaktaki kalan delikler ise akışkan ortam basıncı 9 bar ve dönme hızı 103 rpm olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.1. Delme hızı

Çalışma sahasında 1 nolu ocakta toplam 180 adet ve 2 nolu ocak sahasında 229 adet delik delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir delikte delik boyuna göre kullanılan tijlerin ayrı ayrı  $PR_{Net}$  (m/dak) ve  $PR_{Brüt}$  (m/dak) değerleri süreölçer ile tespit edilmiştir.  $PR_{Brüt}$ , delme işleminin başlangıç zamanı ile bitiş zamanı arasındaki geçen süreyi (toplam süre);  $PR_{Net}$  ise sadece delme işlemi için geçen süreyi (net delme süresi) belirtmektedir. İki ayrı zamanın tutulmasının nedeni ise, delik delme sürecinde hem delme işinin yapılması hem de deliğin temizlenmesi ve tij ilave edilmesinden dolayıdır. Brüt ve net delme hızı Eşitlik 1 ve 2 ile hesaplanmıştır.

$$PR_{Brüt} = \frac{H}{T} \quad (1)$$

$$PR_{Net} = \frac{H}{T_{net}} \quad (2)$$

Burada;

$PR_{Brüt}$ :	Brüt delme hızı, m/dak
$PR_{Net}$ :	Net delme hızı, m/dak
T :	Toplam delik delme süresi, dakika
$T_{net}$ :	Net delik delme süresi, dakika
H :	Delik boyu, metre

## 2.2.2. Fiziko-mekanik özellikler

Arazi çalışmaları süresince ocak sahasında ölçüm (delik delme hızı) yapılan noktalardan alınan kayaç örneklerinden laboratuvar ortamında deney numuneleri hazırlanmış ve ilgili standartlara (ISRM ve TSE) uygun olarak hazırlanan numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Çalışmanın bu aşamasında kireçtaşının fiziksel özelliklerinden, ağırlıkça su emme ve hacimce su emme TSE 13755 (2009) [9], birim hacim ağırlık TSE, yoğunluk, porozite TSE 1936 (2010) [10], mekanik özelliklerinden sismik ( $V_p$ ) hız Shore sertliği, Schmidt çekici sertliği, Tek eksenli basınç dayanımı, Endirek çekme dayanımı (Brazilian), Nokta yük dayanımı indeksi deneyleri ISRM (2007) [11] standartlarında yapılmıştır. Bu deneylerin yapılmasının sebebi şöyle açıklanabilir: kayacın delinebilirliği ile ilgili özelliklerinin tam olarak ortaya konulması aşamasında katkı sağlayacak verilerdir.

**Tablo 1.** 1 nolu ocak sahasının fiziko-mekanik özellikleri [12]

	1 NOLU OCAK			
	Minimum Değer	Maksimum Değer	Ort. Değer	Standart Sapma
Birim Hacim Ağırlık ( $d_h$ ), ( $g/cm^3$ )	2.68	2.7	2.69	0.006
Ağırlıkça Su Emme (ASE), (%)	0.1	0.16	0.12	0.02
Hacimce Su Emme (HSE), (%)	0.17	0.33	0.25	0.06
Gerçek Yoğunluk ( $d_o$ ), ( $kN/m^3$ )	26.51	26.61	26.55	0.06
Sismik Hız ( $V_p$ ), (m/s)	6155.56	6474.19	6373	108
Schmidt Sertliği (N tipi)	28	47	35.8	6.3
Schmidt Sertliği (L tipi)	26	38	31.1	4.07
Shore Sertliği	54	70	61.2	4.38
Görünür Porozite (%)	0.17	0.33	0.25	0.06
Toplam Porozite (%)	0.18	0.41	0.26	0.33
Tek Eksenli Basınç Dayanımı ( $\sigma_c$ ), (MPa)	57.32	97.86	72.91	16.72
Endirek Çekme Dayanımı ( $\sigma_t$ ), (MPa)	6.27	8.3	7.61	0.73
Nokta Yük Dayanımı ( $I_{s(50)}$ ), (MPa)	4.19	5.88	5.38	0.81

**Tablo 2.** 2 nolu ocak sahasının fiziko-mekanik özellikleri [12]

	2 NOLU OCAK			
	Minimum Değer	Maksimum Değer	Ort. Değer	Standart Sapma
Birim Hacim Ağırlık ( $d_h$ ), ( $g/cm^3$ )	2.66	2.7	2.68	0.02
Ağırlıkça Su Emme (ASE), (%)	0.1	0.22	0.15	0.05
Hacimce Su Emme (HSE), (%)	0.23	0.33	0.28	0.14
Gerçek Yoğunluk ( $d_o$ ), ( $kN/m^3$ )	26.17	26.52	26.39	0.22
Sismik Hız ( $V_p$ ), (m/s)	5777.33	6123.46	5975	132
Schmidt Sertliği (N tipi)	31	39	34.1	2.38
Schmidt Sertliği (L tipi)	26	37	30.8	3.88
Shore Sertliği	42	79	57.5	7.6
Görünür Porozite (%)	0.23	0.33	0.28	0.14
Toplam Porozite (%)	0.26	0.37	0.3	0.06
Tek Eksenli Basınç Dayanımı ( $\sigma_c$ ), (MPa)	47.82	89.08	68.36	16.28
Endirek Çekme Dayanımı ( $\sigma_t$ ), (MPa)	6.47	8.05	7.29	0.65
Nokta Yük Dayanımı ( $I_{s(50)}$ ), (MPa)	3.92	5.77	4.56	0.84

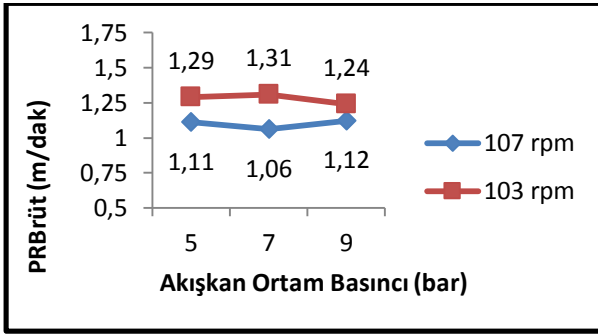
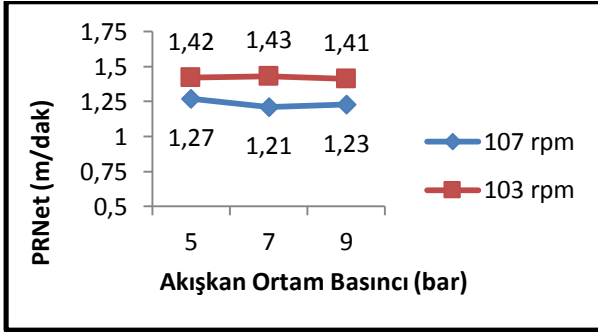
## 3. Bulgular

### 3.1. Delme hızı analizi

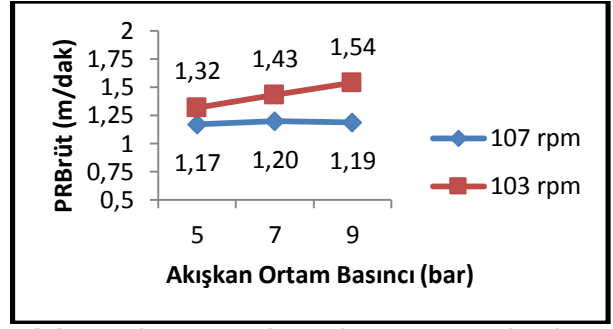
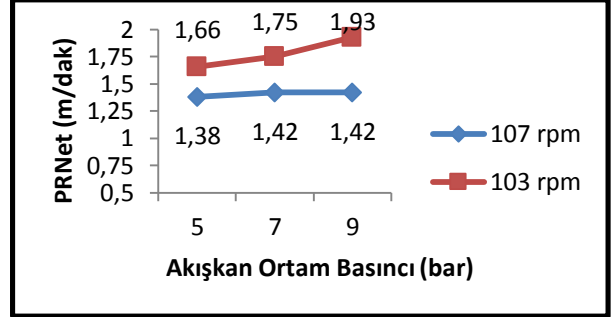
Ocaklarda gerçekleştirilen delik delme işlemlerinin  $PR_{Brüt}$  ve  $PR_{Net}$  değerlerinin ortalamalarının makine çalışma parametreleri ile 1 nolu ocak sahası için nasıl değiştiği Tablo 3'te ve 2 nolu ocak sahası için nasıl değiştiği ise Tablo 4'de verilmiş olup, grafiksel olarak gösterimi ise 1 nolu ocak sahası için Şekil 6-7 ve 2 nolu ocak sahası için Şekil 8-9'da verilmiştir.

**Tablo 3.** 1 nolu ocak sahası PR<sub>Brüt</sub> ve PR<sub>Net</sub> değerleri [12]

		Dönme hızı (rpm)			
		107		103	
		PR Brüt Ort. (m/dk)	PR Net Ort. (m/dk)	PR Brüt Ort. (m/dk)	PR Net Ort. (m/dk)
Akışkan Ortam Basıncı (bar)	5	1.11	1.27	1.29	1.42
	7	1.06	1.21	1.31	1.43
	9	1.12	1.23	1.24	1.41

**Şekil 6.** 1 nolu ocak sahasının makine çalışma parametreleri ile PR<sub>Brüt</sub> değerlerinin değişim grafiği [12]**Şekil 7.** 1 nolu ocak sahasının makine çalışma parametreleri ile PR<sub>Net</sub> değerlerinin değişim grafiği [12]**Tablo 4.** 2 nolu ocak sahası PR<sub>Brüt</sub> ve PR<sub>Net</sub> değerleri [12]

		Dönme hızı (rpm)			
		107		103	
		PR Brüt Ort. (m/dk)	PR Net Ort. (m/dk)	PR Brüt Ort. (m/dk)	PR Net Ort. (m/dk)
Akışkan Ortam Basıncı (bar)	5	1.17	1.38	1.32	1.66
	7	1.2	1.42	1.43	1.75
	9	1.19	1.42	1.54	1.93

**Şekil 8.** 2 nolu ocak sahasının makine çalışma parametreleri ile PR<sub>Brüt</sub> değerlerinin değişim grafiği [12]**Şekil 9.** 2 nolu ocak sahasının makine çalışma parametreleri ile PR<sub>Net</sub> değerlerinin değişim grafiği [12]

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Delme işlemlerinde kullanılan delici makinelerin çalışma parametreleri ile delme hızı değerleri arasındaki ilişkinin ortaya konulması her zaman ilgi çeken bir araştırma konusu olmuştur.

1 ve 2 nolu ocak sahasında gerçekleştirilen delme işlemlerinde, delme hızlarının 103 rpm dönme hızındaki PR<sub>net</sub> ve PR<sub>brüt</sub> delik delme değerlerinin, 107 rpm dönme hızında ki PR<sub>net</sub> ve PR<sub>brüt</sub> delik delme hızlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

2 nolu ocak sahasının PR<sub>net</sub> değerleri (Şekil 9) ve 1 nolu ocak sahasının PR<sub>net</sub> (Şekil 7) incelendiği zaman, tüm akışkan ortam basıncı değerlerinde ve her iki dönme hızı değerinde de PR<sub>net1</sub> < PR<sub>net2</sub> olduğu görülmektedir. Bu durum 2 nolu ocak sahasının 1 nolu ocak sahasına göre daha kolay delineceği sonucunu vermektedir.

Bu çalışmadan elde edilen verilerin araştırmacılara veri oluşturması açısından bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

#### Teşekkür

Arazi çalışmalarının gerçekleştirilmesinde katkılarından dolayı İrem Patlayıcı Mad. Doğ. Taş. Mad. Müh. Nak. İnş. Tur. San. ve Tic. Ltd. Şti. ile AK-YAL İnş. Tic. ve San. Ltd. Şti. şirketlerine teşekkür ederim.

#### Kaynakça

[1] Koçcaz, C.E., 2013. Göltaş (Isparta) Kireçtaşı Ocağında Darbeli Delme Performans Analizi ve

- Uygun Uç Seçimi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Yüksek Lisans Tezi, 76.
- [2] Çapık, M., 2014. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerindeki kayaların delinebilirlik, aşındırıcılık, mekanik ve petrografik özelliklerinin araştırılması, net delme hızı ve bit tüketimi ile ilişkilendirilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Doktora Tezi, 296.
- [3] Yaralı, O., ve Soyer, E., 2013 Assessment of relationships between drilling rate index and mechanical properties of rocks, Tunnelling and Underground Space Technology, 46-53.
- [4] Ataei, M., KaKaie, R., Ghavidel, ve Saeidi. O., 2015. Drilling rate Prediction of an open pit mine using the rock mass drillability index, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 130-138.
- [5] 1 ve 2 nolu ocak sahasının genel görünümü. <https://www.google.com/maps/@37.2326598,29.6168572,2812m/data=!3m1!1e3> (Erişim Tarihi: 11.01.2019).
- [6] Atlas Copco Flexi ROC T35 delici makine. <https://www.epiroc.com/en-id/products/drill-rigs/surface-drill-rigs/flexiroc-t35> (Erişim Tarihi: 11.01.2019).
- [7] Özdemir, A., 2007. Kayaların delinebilirliğini etkileyen jeo-mühendislik özellikleri, Sondaj Dünyası Dergisi, 5, 15-18.
- [8] Özdemir, A., 2011. Çambaşı regülatörü ve hes tünel güzergahındaki kayaların bazı mühendislik özellikleri ile delinebilirlikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans Tezi, 248.
- [9] TSE 13755, 2009. Doğal taşlar - Deney metodları- Atmosfer basıncında su emme tayini, TSE, Ankara.
- [10] TSE 1936, 2010. Doğal taşlar - Deney yöntemleri- Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, TSE, Ankara.
- [11] ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. Rock Characterization, Testing and Monitoring - ISRM Suggested Methods. E.T. Brown (ed.), Pergamon Press, 2011 p., Oxford.
- [12] Tuncer, İ., 2018 Küçükalan Göleti ve Sulaması İnşaatı Kireçtaşı Ocağı Patlatma Deliği Delme Performans Etüdü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Yüksek Lisans Tezi, 161.

## Jeofizik Yöntemler ile Yer ve Yapı Etkileşimi

Erkan ATEŞ<sup>\*1</sup>, Osman UYANIK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>AFAD, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara  
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5646-9778>)

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta  
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7089-4340>)

(Alınış / Received: 05.06.2018, Kabul / Accepted: 01.02.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 11.03.2019)

### Anahtar Kelimeler

Deprem,  
Büyütme,  
İvmeölçer,  
Spektral oran,  
Yer baskın periyod,  
Girişim

**Özet:** Bu çalışmada 5 katlı bir yapının ve yerin deprem dalgalarını büyütme etkisi ve baskın frekansları araştırılmıştır. Bu amaçla 2008 yılında 5 katlı yapının çatısına ve yapının inşa edildiği yere ivmeölçer aygıtları yerleştirilmiştir. Yer sınıfının belirlenmesi amacıyla MASW ölçüsü alınmış, yerin ilk 30 m için makaslama (kayma) dalgası hızı ( $V_{s30}$ ) hesaplanmıştır. Bina ve yere yerleştirilen ivmeölçerler kullanılarak moment büyüklüğü 3, 4, 5 ve 6 olan, farklı kaynaklardan yakın ve uzak mesafede birçok deprem kaydedilmiştir. Yapının ve yerin büyütmesini elde edebilmek için kaydedilen deprem sinyallerine referans yöntemine göre spektral oran ve tek istasyon yöntemine göre yatay/düşey oran teknikleri uygulanmıştır. Bu tekniklerin uygulanması sonucunda binaya ve yere ait büyütme, baskın frekanslar ve binanın sönüm oranı belirlenmiş, bina ve yerin girişim durumu incelenmiştir. Sonuç olarak yerden binaya geçen deprem dalgalarının genlik büyütmesi deprem büyüklüğüne ve uzaklığına bağlı olarak 6-12 aralıkta elde edilmiştir.

## Ground and Structural Interaction Using Geophysical Methods

### Keywords

Earthquake,  
Amplification,  
Accelerometer,  
Spectral ratio,  
Ground dominant period,  
Resonance

**Abstract:** In this study, it was investigated the amplification effect and dominant frequencies of the earthquake waves, in the 5-floors building and the ground where was built it. With this purpose, accelerometers were placed on the roof and ground of the 5-floors building in 2008. In order to determine the ground class, the MASW measure was taken, shear wave velocity ( $V_{s30}$ ) was calculated for the first 30 m. Accelerometers that were placed in the building and the ground recorded earthquakes with moment magnitude of 3, 4, 5 and 6 at close and far distances from different sources. Spectral ratio technique and horizontal / vertical spectral ratio technique have been applied to earthquake signals depending on the reference method and single station method in order to obtain the amplification of the building and the ground. As a result of the application of these techniques, the resonance conditions, the dominant frequencies, and the amplifications which belong to building and ground were investigated. As a result, amplitude amplification of the earthquake waves passing from the ground to the building depending on the earthquake magnitude and distance was obtained between 6 and 12.

### 1. Giriş

Bir deprem meydana geldiğinde kaynaktan yayılan sismik dalgalar yollarının bir bölümünü sert kaya içinde son aşaması ise kayaya göre yumuşak olan yer tabakaları içerisinde geçirirler. Bu dalgalar yeryüzünde birkaç saniyeden dakikalara varan sürelerde titreşim üretirler. Bu titreşim süresi depremin büyüklüğüne, merkez üssüne olan uzaklığına ve yer özelliklerine bağlı olarak değişir. Yer

hareketinin davranışı, kuvvetli yer hareketi (ivmeölçer) kayıtlarının incelenbilmesi ile mümkündür. Alüvyon bir yeraltı yapısında ilerleyen bir dalganın genliği, sert kaya birimlerine oranla daha büyük olacak ve yer hareketi yumuşak birimlerde daha fazla hissedilecektir.

Sismik dalgalar yer yüzeyine ulaştıklarında bazı frekans içeriğindeki dalgaları bastırırken bazı frekanstaki dalgaların genliklerinin artırmaktadır. Bu

genlik artışı yer büyütmesi veya yer etkisi olarak adlandırılmaktadır. Bu etkinin yumuşak yer özelliklerine sahip alanlarda oluşan hasarlarda büyük etkileri olduğu 1995 Kobe depremi gibi büyük deprem verilerinin incelenmesiyle kanıtlanmıştır [1].

Yer büyütmesinin belirlenmesinin de en geçerli yol deprem (kuvvetli yer hareketi) kayıtları analizlerinin kullanılmasıdır. Yer etkisi deprem kayıtları üzerinde bazı yaklaşımlar yapılarak görülebilir. Bunlardan birincisi Standart Spektral Oran (SSR) yöntemidir [2]. Bu yöntemdeki temel esas yer etkisi belirlenecek deprem istasyonundaki kayıtların yakın bir noktadaki kaya üzerindeki istasyon kaydına oranlanmasıdır. Yer etkisinin hesaplanabilmesi kaynak etkisinin her iki kuvvetli yer hareketi istasyonu için aynı olması gerekmektedir. İstasyonlar arası uzaklığı deprem merkez üssüne olan uzaklığından az olmalıdır [3]. Yer etkisinin bulunmasında kullanılan bir diğer yöntem ise yatay/düşey spektral oran (HVSr) yöntemidir [4,5]. Bu yöntem düşey bileşenin yer koşullarından etkilenmediği varsayımından yola çıkarak yatay bileşen spektrumlarının düşey bileşene oranlanması prensibine dayanır. Bu yöntem referans istasyonu gerektirmemesi nedeniyle daha kullanışlıdır.

Ülkemizde gerçek deprem kayıtları kullanılarak yer etkisinin belirlenebilmesi için 1995 Dinar depreminden sonra kurulan artçı deprem istasyonlarının analizleri [6] ve İzmir ilinde kurulu bulunan kuvvetli yer hareketi istasyon kayıtları kullanılarak [7] yer etkisi hesaplanmaya çalışılmıştır.

Deprem sırasında yapıda meydana gelebilecek hasar oluşma olasılığının belirlenebilmesi için beton dayanımı, donatı durumu, temel tipi, kısa kolon gibi yapı parametrelerinin yanı sıra yerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi gereklidir [8,9,10,11,12]. Tüm bu parametrelerin dışında yer ve yapı periyodu da belirlenmelidir. Yer baskın salınım periyodu ile yapı salınım periyodunun aynı veya birbirine yakın olması durumunda yapı ile yer arasında girişim (rezonans) oluşması ve buna bağlı olarak hasar oluşma olasılığı bulunmaktadır. Birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarda gürültü kayıtlarının analizleri ile yer etkilerinin yanında bina periyodlarını hesaplayarak yer ve bina arasında bir girişim durumunu ortaya koymaya çalışmışlardır [13,14,15,16,17,18]. Ancak bu çalışmalar gürültü kayıtları kullanılarak yapılan çalışmalardır. Bu çalışmada ise yapıda ve yerde gerçek deprem kayıtları kullanılarak girişim durumu araştırılmıştır. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, bina çatı katında ve inşa edildiği yerde kurulan birer adet (toplam 2 adet) ivmeölçer aygıtının kaydettiği gerçek deprem kayıtları ile bina, yer özelliklerini ve girişim durumunu incelemesidir. Ülkemizde yer özelliklerinin belirlenmesi bakımından gerçek deprem kayıtları kullanılmasına karşın, yapıda daha çok gürültü kayıtlarının analizleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada gerçek deprem kayıtları kullanılarak yapı özelliklerinin belirlenmesi özelliğiyle diğer çalışmalardan farklı bir yaklaşım ortaya konulmuştur.

Bu amaç ile Kuzey Anadolu Fay zonu üzerinde yer alan ve birçok önemli depremlere maruz kalan Kocaeli ilinde yer ve bina özelliklerini araştırmak için, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi hizmet binası çatı katına ve inşa edildiği yere ivmeölçer cihazları yerleştirilmiştir. Bu cihazların kaydettiği 16 adet deprem, standart spektral oran (SSR) ile yatay/düşey spektral oran (HVSr) yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiş, yer ve yapının baskın salınım frekansları, büyütme değerleri, yapı sönüm oranı bulunmuş, yer ve yapı arasındaki bir girişim durumu incelenmeye çalışılmıştır. Gerçek deprem kayıtlarının analizlerinin yanında kuvvetli yer hareketi istasyonunun yer sınıfının belirlenmesi amacıyla Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW) yöntemi uygulanmış ve ilk 30 m kayma dalga hızı ve yer baskın salınım periyodu hesaplanmıştır. Deprem kayıtlarının SSR, HVSr analizlerinden ve MASW'dan elde edilen yerin baskın salınım periyodları karşılaştırılmıştır.

## 2. Çalışma Alanı ve Kullanılan Yöntemler

### 2.1. Çalışma alanının tanıtımı

Marmara bölgesinin üçüncü büyük ili olan Kocaeli Kuzey Anadolu Fay (KAF) üzerinde yer almakta olup bu fay zonunda meydana gelen depremlerden etkilenmektedir.

Kocaeli il merkezine 12 km uzağında KAF üzerinde 17 Ağustos 1999 tarihinde yerel saat ile 03:02'de meydana gelen moment büyüklüğü 7.4 olarak hesaplanan deprem meydana gelmiştir. Depremin merkez üssü ve derinliği Mülga Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Dairesi tarafından hesaplanmıştır.

1999 yılında meydana gelen depremde Kocaeli ili genelinde 31.625 konut ağır, 29076 konut orta, 31.751 konut hafif hasara sebep olmuştur [19].

Kocaeli il ve ilçe merkezlerindeki konutların hasar durumlarına yüzde olarak bakacak olursak, Kocaeli il merkezinin % 10'u, Gebze % 0.48'i, Gölcük % 35.70'i, Kandıra % 0.25'i, Karamürsel % 14.19'u ve Körfez % 12.75'i ağır hasara uğramıştır [14]. Görüleceği üzere depremde en yüksek hasar Gölcük ilçe merkezinde oluşmuştur. Hasar durumundan da anlaşılacağı üzere 17 Ağustos 1999 tarihinde Kocaeli ilinde etkili olan depremden sonra, kent dokusunda ciddi bir dönüşüm ve değişim gerçekleşmiştir.

Deprem sonrası Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafında Kocaeli ili mikro bölgeleme etüt işlemleri tamamlanmıştır. Ayrıca deprem anında hasar

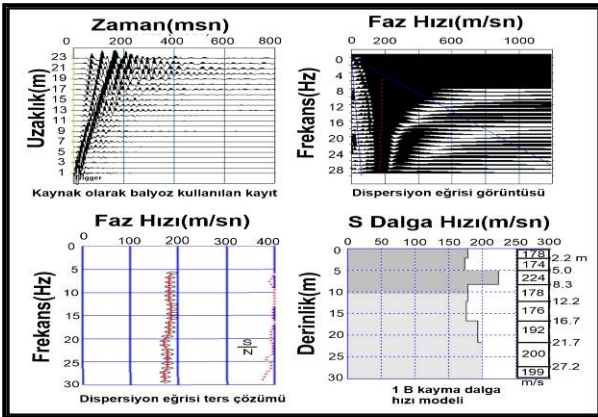
yapabilen kuvvetlerin belirlenmesi amacıyla Kocaeli Büyükşehir Belediyesi ve AFAD Deprem Dairesi Başkanlığının işbirliği ile Kocaeli.NET yerel ivmeölçer deprem istasyon ağı kurulmuştur. Olası bir depremde yapı sağlığının izlenmesi ve yapıya gelecek deprem kuvvetinin belirlenmesi amacıyla 2008 yılında Kocaeli Belediyesi Hizmet binasının çatı katına bir adet ve binanın inşa edildiği yere bir adet olmak üzere 2 adet ivmeölçer aygıtları kurulmuştur. Çalışma konusu olan bina Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma konusu bina

## 2.2. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi yöntemi (MASW)

Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi ilk olarak [20,21,22] tarafından ortaya atıldı. Kaynağı aktif olan MASW tekniği [23] tarafından geliştirildi. Bilindiği üzere yüzey dalgalarının önemli bir fiziksel özelliği dispersiyondur. Yüzey dalgalarının dispersiyon eğrisinin analizinden ortama ait kayma dalga hızları elde edilir [24]. Kayma dalga hızının elde edilme aşamaları Şekil 2' de verilmiştir



Şekil 2. Çok kanallı yüzey dalgalarının analizi[25]

Çalışma alanlarında yorumlanabilir nitelikte veri toplamak için yöntemin kuramına uygun olarak ölçüm yapmak gerekmektedir. Bu amaçla MASW yönteminde uygun veri toplamak için kaynaktan yeterli miktarda enerjinin oluşturulması ve verilerin elde edilmesi için uygun frekanslı (4.5 Hz, 2 Hz) jeofonların kullanılması gereklidir. MASW yönteminde kayıt olağan sismik kırılma yönteminde olduğu şekilde alınır. Kaynak noktası (Ofset) mesafesi

ve 4.5 Hz' lik jeofonlar ile oluşturulan serimin aralıkları çalışma amacına göre seçilir. Gürültünün bastırılması ve sinyallerin daha belirgin hale gelmesi amacıyla vuruş aynı noktada birkaç kez tekrarlanarak yığma işlemi yapılabilir. Yer içinde ilerleyen rayleigh dalgası yüzeydeki jeofonlar yardımıyla kayıt altına alınır.

Kaydedilen MASW verisine ilk olarak faz hızı-frekans dönüşümü uygulanır. Bu işlem sonucu dalganın dispersiyon eğrisi hesaplanarak görüntülenir. Ölçülen veri ile yeraltının kuramsal modelinin dispersiyon eğrileri birbiri ile çakışana kadar hesaplama yapılır. Bu işleme ters çözümü denir. Ters çözüm işleminden sonra yeraltının derinliklerine göre değişen bir boyutlu kayma dalga hızı modeli oluşur (Şekil 2).

MASW çalışmasından derine doğru elde edilen kayma dalga hızları kullanılarak Yer baskın salınım periyodu eşitlik 1 den hesaplanır. Eşitlik 1 deki H derinliği kayma dalga hızına bağlı 30 ya da 50m seçilir. Bu seçim ilk 30m içerisinde  $V_s > 500$  m/s elde edilir ise H=30m alınır tersi olması durumunda H=50m kullanılmalıdır [26].

$$T_z = \frac{4h_1}{V_{s1}} + \frac{4h_2}{V_{s2}} + \frac{4(H-(h_1+h_2))}{V_{s3}} \quad (1)$$

## 2.3. Kuvvetli yer hareketi ölçümleri

Yapının inşa edildiği yerde meydana gelebilecek yatay ivmenin tahmini ve depremin uzaklıkla olan azalım ilişkisinin geliştirilmesi ile depreme dayanıklı yapı tasarımları yapılabilir. Mühendislik açısından öneme sahip olan yer hareketlerinin özelliklerini ve bu özellikleri yansıtan yer hareketi parametrelerini tanımlamak gerekmektedir. Yer hareketi parametrelerinin tanımlanması ve değerlendirilmesi için gerçek depremler sırasında ölçülmüş ivmeölçer kayıtlarının incelenmesi gerekir. Yapı sağlığı izlenmesi amacıyla kurulacak ivmeölçer kayıtçıları yapının bir deprem anında salınımını, davranışını belirlemek ve büyük bir deprem sonrasında yapının olası hasar alma durumunu tespit etmek amacıyla kullanılır. Yapı sağlığı izleme sistemlerinin yeni deprem yönetmeliğinde yüksek yapılara kurulması zorunluluğu getirilmiştir.

Kuvvetli yer hareketinin süresinin deprem hasarı üzerindeki etkisi çok güçlü olabilir. Genliği yüksek fakat süresi kısa bir hareket yapıda hasar yapıcı bir etki yaratmayacak ancak orta düzeyde genlikli ve uzun süreli bir hareket, yapıda önemli derecede yıkıcı hasara neden olabilmektedir.

### 2.3.1. Yatay düşey spektral oran yöntemi (HVSRR)

Yöntemin esası; tek istasyonda kaydedilen deprem dalgalarının S fazlarının Yatay (H) genlik spektrumlarının Düşey (V) genlik spektrumuna oranlanmasına dayanır [4,5].



Deprem kayıtlarında düşey bileşenlerin yer tabakalarının özelliklerinden etkilenmediği buna karşın yatay bileşenlerin, tabakaların hız ve yoğunluk özelliklerine göre deprem dalgalarının genliklerini belli frekanslarda büyütme uğratırlar. Bu teoriye göre büyütme uğrayan yatay bileşen spektrumlarının düşey spektruma oranlanması ile yer/yapı transfer fonksiyonunun elde edilmesi sağlanır. Özetle yöntem düşey bileşeni referans bileşen olarak kullanmaktadır.

$$S_z = \frac{S_t}{A_t} = \frac{\frac{H_s}{H_b}}{\frac{V_s}{V_b}} = \frac{H_s}{V_s} \quad (2)$$

Eşitlik 2 de verilen  $H_s$  yatay bileşen spektrumlarını  $V_s$  düşey bileşen spektrumunu  $S_z$  ise transfer fonksiyonunu temsil eder.

### 2.3.2. Standart spektral oran yöntemi

Standart spektral oran yöntem ilk olarak [2] tarafından kuvvetli yer hareketi kayıtlarına uygulanmıştır. Zayıf ve kuvvetli yer hareketi istasyon kayıtlarına uygulanan yöntem, 1970 yılından günümüze yaygın olarak kullanılmaktadır [2].

- Mikrotremor veya kuvvetli yer hareketi kayıtlarının yatay bileşenlerin S dalgasının bir kısmı pencere ile çıkarılır.
- Çıkarılan yatay bileşen penceresinin yuvarlatılmış hızlı Fourier (FFT) genlik spektrumu alınır.
- Büyütmesi hesaplanacak noktadaki yatay bileşen yuvarlatılmış Fourier genlik spektrumu, referans olarak kullanılacak istasyona ait yatay bileşen yuvarlatılmış Fourier genlik spektrumuna oranlanarak transfer fonksiyonu (TF) hesaplanmış olur.

$$Tf(f) = H_s(f) \div H_r(f) \quad (3)$$

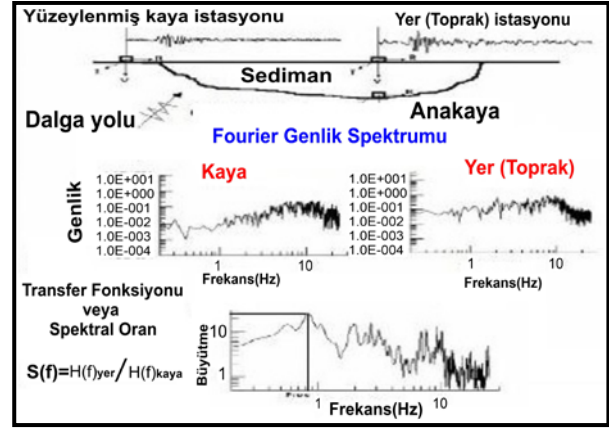
ile tanımlanır. Eşitlik 3'te  $H_s(f)$  alüvyon noktasına ait yatay bileşen Fourier genlik spektrumu,  $H_r(f)$  referans noktasına ait yatay bileşen Fourier genlik spektrumunu gösterir.

## 3. Bulgular

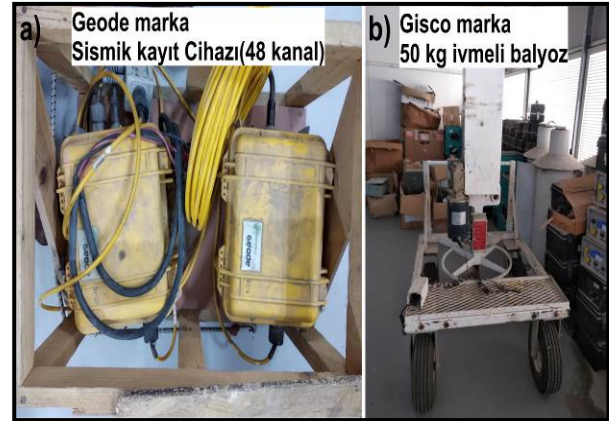
### 3.1. MASW sonuçları

Kocaeli belediyesi hizmet binası bahçesinde bulunan ivmeölçer istasyonunun yer sınıfının belirlenmesi amacıyla MASW ölçüsü alınmıştır. Sismik saha çalışması için kaynak, kablo, jeofon ve kayıt sistemlerinden oluşan bütünleşmiş bir sistem kullanılmıştır. Enerji kaynağı olarak 50 kg ağırlıklı elektromekanik bir kaynak sistemi kayıt aygıtı olarak 48 kanallı (2 adet 24 kanallı sistem) Geode marka

sismik kayıt aygıtı kullanılmıştır. Ölçü alımlarında jeofon aralıkları ve ofset 2 m, serim uzunluğu 96 m olup, 48 adet 4.5 Hz düşey jeofonlar kullanılmıştır. Örneklem aralığı 1 ms, kayıt uzunluğu 2 sn'dir. Kullanılan aygıtlar şekil 4'te gösterilmiştir.

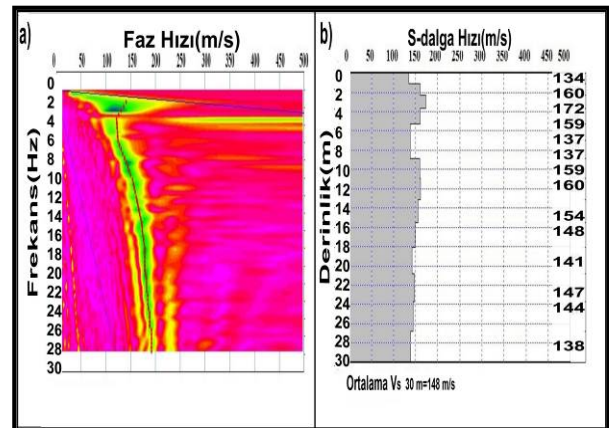


Şekil 3. SSR yöntemi temel veri işlem [27] den düzenlenmiştir.



Şekil 4. a) Sismik kayıtçı, b) 50-kg ivmeli balyoz,

Yapılan veri işlem sonrasında oluşan dispersiyon eğrisi Şekil 5'te verilmiş olup veri işlem aşamaları sonucunda yer tabakalarının ilk 30 m kayma dalgası hızı 148 m/s (şekil 5b) bulunmuştur. İstasyon bulunduğu yerde 2013 yılında yapılan SPAC ölçümü sonucu bu çalışmada gösterilen MASW sonuçlarıyla uyumludur.



Şekil 5. a) Dispersiyon eğrisi, b) Derinlik hız modeli

Yer baskın salınım periyodunun 50 m etkinliğe kadar yapılan hesaplamada etkin derinlik 50 m kadar ulaşmadığı göz önüne alındığında son tabakanın hızının 50 m kadar aynı kaldığı kabulüne göre yapılan hesapta baskın salınım periyodu 1.25 sn olarak hesaplanmış, frekansta ise 0.80 Hz olarak bulunmuştur. Benzer şekilde  $V_{s30}=148$  m/s kullanılarak hesaplanan baskın salınım periyot 1.23 sn elde edilmiştir.

### 3.2. Deprem (ivme) kayıtlarının analizleri

#### 3.2.1. Standart spektral oran yöntemi sonuçları

Standart spektral oran (SSR) yönteminde bir depremde dinamik özellikleri hesaplanması istenilen kayıtçının yatay bileşenlerinin spektrumunun referans istasyonun yatay bileşen spektrumuna bölerek yer büyütmesini belirlemektir.

Kocaeli Belediyesinin yapı sağlığı izlenmesi amacıyla kurulan ivmeölçer istasyonları Şekil 6'da gösterilmiştir



Şekil 6. Bina ve zeminde kurulan istasyonların konumları (Google Earth)

SSR yönteminde yer büyütmesinin belirlenmesi amacıyla referans istasyon olarak Meteoroloji müdürlüğünde bulunan ivmeölçer aygıtı kullanılmıştır. Bina büyütmesinin bulunması amacıyla yerde bulunan istasyon referans istasyon olarak kullanılmıştır. Kaydedilen kayıtlar SSR yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Bina büyütmesinin belirlenebilmesi amacıyla 5. Katta bulunan ivmeölçerler tarafından kaydedilen kayıtların yatay bileşenlerin S dalga penceresi FFT'si alınarak birleştirilmiş yerde bulunan kayıtların yatay bileşenlerine oranlanmıştır. Yer büyütmesinin belirlenmesi amacıyla yerde bulunan istasyonun yatay bileşenlerinin S dalga penceresi kayada bulunan ivmeölçer kayıtlarına oranlanmıştır.

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi binası ve yer özelliklerini anlamaya yönelik Şekil 6'da konumları gösterilen iki farklı istasyon (bina çatı katı ve yerde bulunan istasyon) tarafından ortak olarak kayıt edilen farklı büyüklüğe, merkez üssünden farklı

uzaklığa sahip 16 adet deprem verisi kullanılmıştır. Kullanılan depremlerin konumları Şekil 7'de moment magnitüdüleri ve tarihleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi binasının kurulu olduğu yerin büyütmesini belirlemek içinse kayada kurulu olan referans istasyon ile bina bahçesindeki istasyon tarafından ortak olarak kayıt edilen farklı büyüklüğe, merkez üssünden farklı uzaklığa sahip 5 adet deprem verisi kullanılmış ve bunlar Şekil 8 de ve Tablo 2 de sunulmuştur.

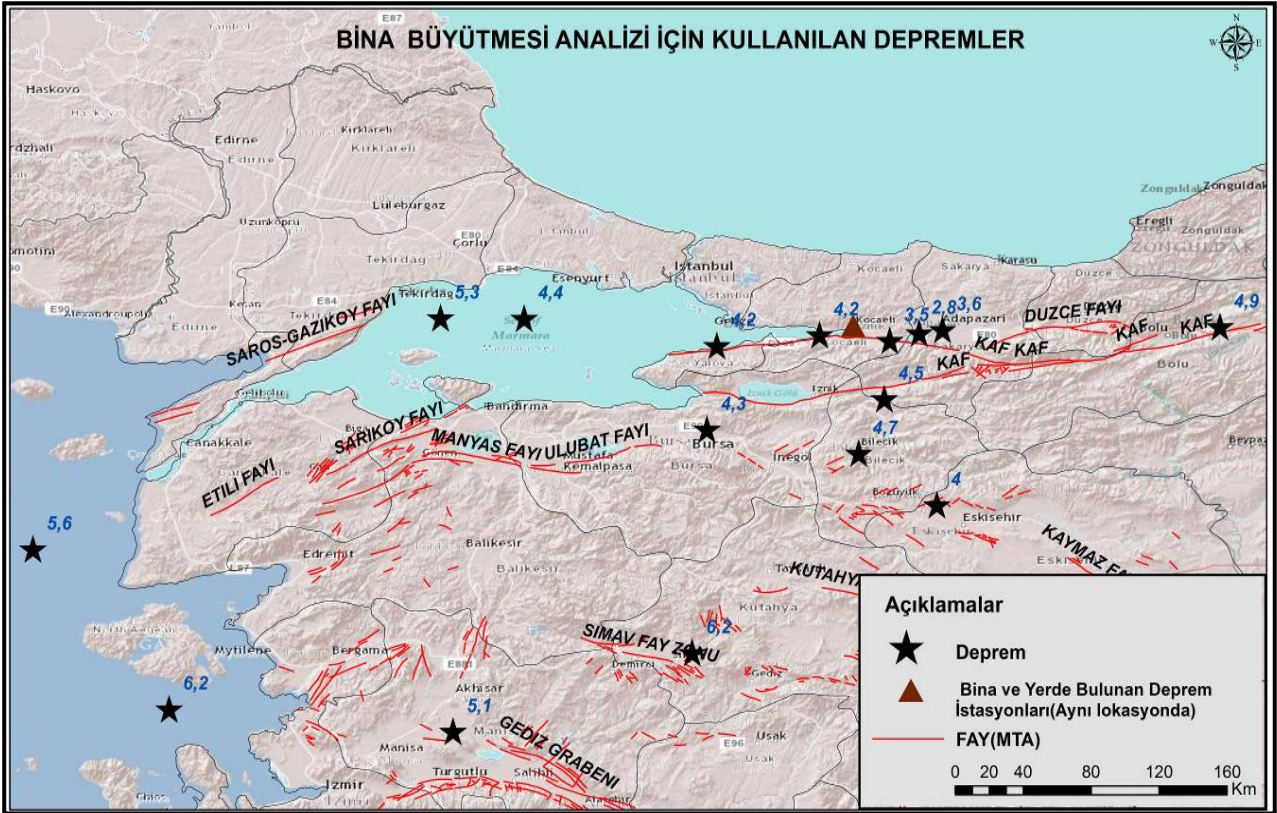
Tablo 1. Bina ve yerde bulunan ivmeölçerlerin kaydettiği ortak depremler

No	Enlem	Boylam	Mw	Tarih	Uzaklık (km)
1	40,817	28,1925	4,4	3.10.2010	147
2	40,734	29,7567	4,2	20.01.2011	15
3	40,137	29,9643	4,7	11.07.2011	69
4	39,1328	29,082	6,2	19.05.2011	195
5	40,8195	27,7498	5,3	25.07.2011	184
6	40,7608	30,4077	3,6	7.07.2012	40
7	39,6553	25,5912	5,6	8.01.2013	386
8	40,7427	30,284	2,8	10.11.2013	30
9	40,7743	31,8762	4,9	24.11.2013	164
10	40,4113	30,1001	4,5	22.10.2014	41
11	39,8775	30,3785	4,0	17.01.2015	105
12	40,2575	29,1608	4,3	7.06.2016	86
13	40,68	29,2128	4,2	25.06.2016	61
14	40,7058	30,1288	3,5	2.09.2016	18
15	38,7358	27,8156	5,1	27.05.2017	286
16	38,8488	26,3126	6,2	12.06.2017	372

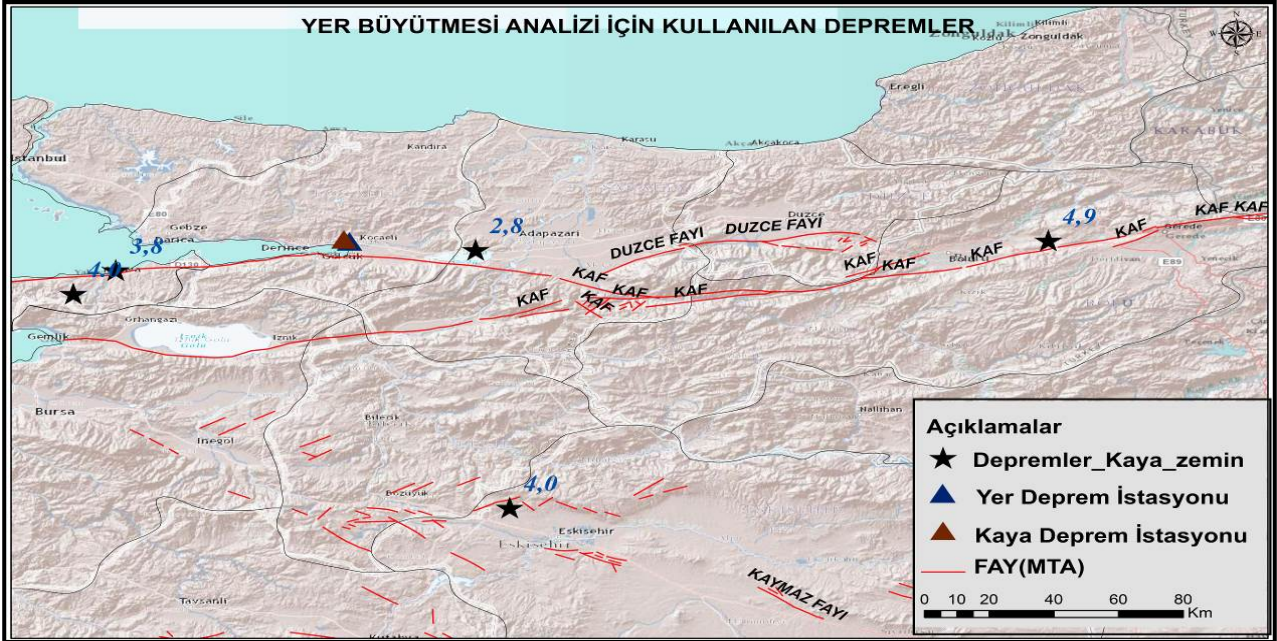
Tablo 2. Kaya (referans istasyon) ve yerde (bina bahçesi) bulunan ivmeölçerlerin kaydettiği ortak depremler

No	Enlem	Boylam	Mw	Tarih	Uzaklık (km)
1	40,7427	30,284	2,8	10.11.2013	30
2	40,7743	31,8762	4,9	24.11.2013	164
3	40,5956	29,1655	4,0	03.08.2014	67
4	39,8775	30,3785	4,0	17.01.2015	105
5	41,0000	29,0000	3,8	13.08.2015	54

Veri işlem aşamasında GEOPSY programı kullanılmıştır [28]. Kullanılan kayıtların tümü saniyede 100 örnek olacak şekilde sayısallaştırılmış. Aygıt etkileri giderilmiştir. Yer ve yapı üzerinde meydana gelen deprem etkisini hesaplamak için deprem kayıtların yalnızca S dalga fazı kullanılmıştır. Bu amaçla kullanılan tüm verilerden 5 sn uzunlukta pencereler ile kesilen veriler 0,1-20 Hz BANDPASS süzgeç kullanılmış ve veri uçları %5 kosinüs pencere ile yuvarlatılmış, FFT kullanılarak genlik spektrumları alınmıştır. İvme kayıtlarının yalnızca yatay bileşenleri spektrumların bileşkeleri alınarak, referans istasyona oranlanmış, baskın frekans ve büyütme değerleri ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 7. Bina büyütmesi için kullanılan depremler



Şekil 8. Yer büyütmesi için kullanılan depremler

Veri işlem aşamaları aşağıdaki sırada verilmiştir.

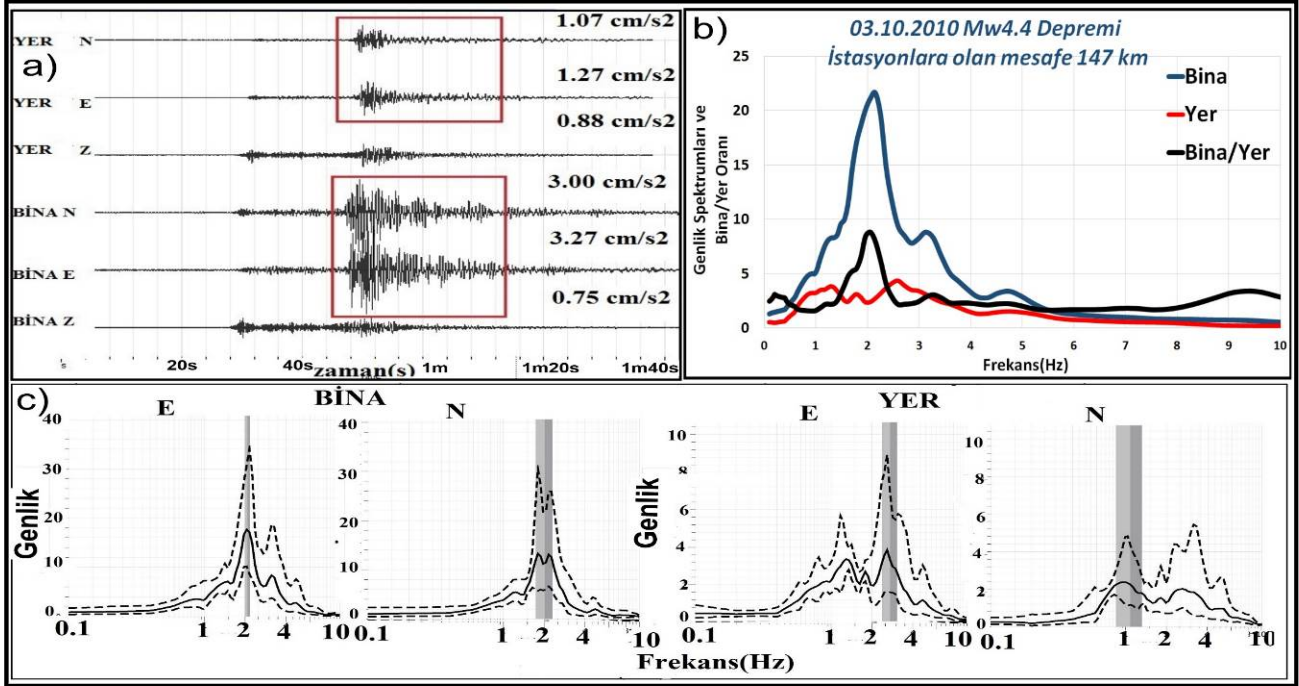
- Eğilim etkisi giderimi
- Süzgeçleme işlemi (Bandpass, 0,1-20 Hz)
- Pencereleme seçimi işlemi
- Kayıtların kenarlarına uygulanan törpüleme işlemi (taper, %5)
- FFT
- Yuvarlatma işlemi (Konno ve Ohmachi,  $b=40$ ) [29]
- Yatay bileşen spektrumlarının oranı (Bina/Yer, Yer/Kaya)

### 3.2.1.1. Bina/Yer SSR yöntemi sonuçları

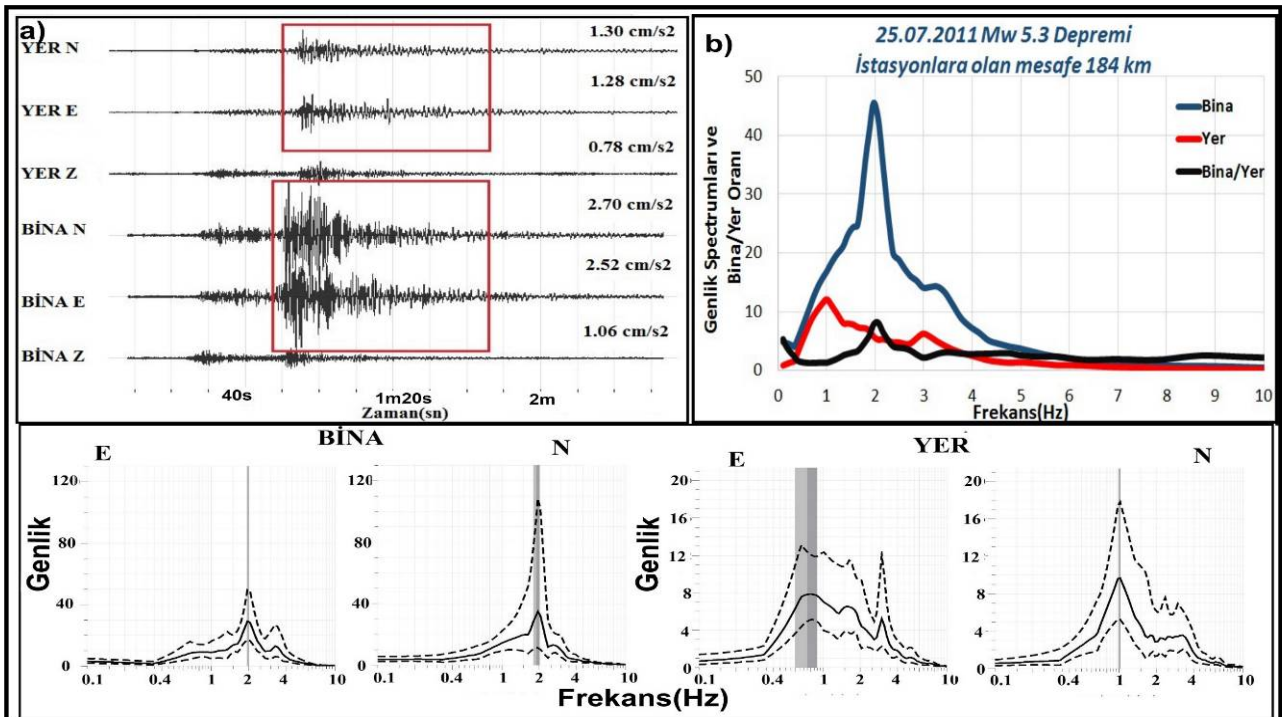
Bina baskın frekansı (1. Mod) ve büyütmesini belirlemek için Tablo 1 de verilen farklı büyüklük ve konumlardaki 16 adet depreme ait 32 ivme kaydı kullanılmıştır. Sonuçlardan dört adet örnek depreme ait grafikler Şekil 9 - Şekil 12'de sunulmuştur. Sonuç sırası a) grafiğinde yer ve binada kurulu bulunan ivme kayıtlarında seçilen S dalgası penceresi belirtilmiştir. Kayıtların a) grafiğinde sağ üst köşesinde istasyonun kayıt ettiği en büyük ivme değeri (PGA)  $\text{cm/s}^2$  biriminden verilmiştir. b)

grafiğinde Seçilen S dalga fazının FFT'si alınarak frekans ortamına geçilmiş ve yön bağımlılığından kurtulmak için iki yatay bileşenin birleştirilmiştir. Yapı büyütmesi ve baskın frekansının bulunması için yer istasyonu referans istasyon olarak düşünülmüş ve bina kaydı yer frekansına oranlanmış ve sonuçlar ayrı ayrı grafiklenmiştir. c) grafiğinde ise kayıtların seçilen S fazının spektrumları iki yatay bileşeni ayrı ayrı sunulmuştur. Şekil 13'de 16 adet deprem verisinin veri işleminde elde edilen bina/yer

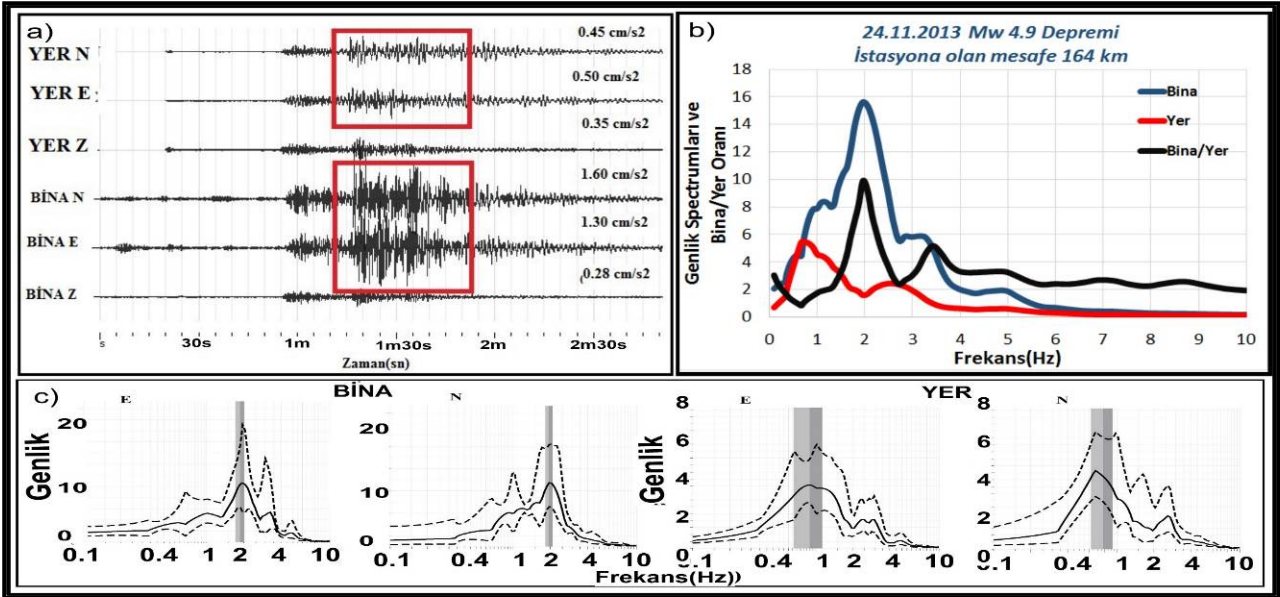
spektral oran grafikleri elde edilmiştir. Tüm kayıtlarda görüleceği üzere 2 Hz frekansında ani bir doruk görülmektedir. Binanın baskın salınım frekansı (1.Mod) bu frekans olduğu düşünülmektedir. Şekil 14'te ise bu 16 deprem kaydının spektral oranının ortalamasını görmekteyiz. Spektral oran yönteminde bina yatay bileşen spektrumunun yer spektrumuna oranlanması sebebiyle bina kayıtlarından yer etkisi giderilmiş ve saf bina transfer fonksiyonu elde edilmiştir.



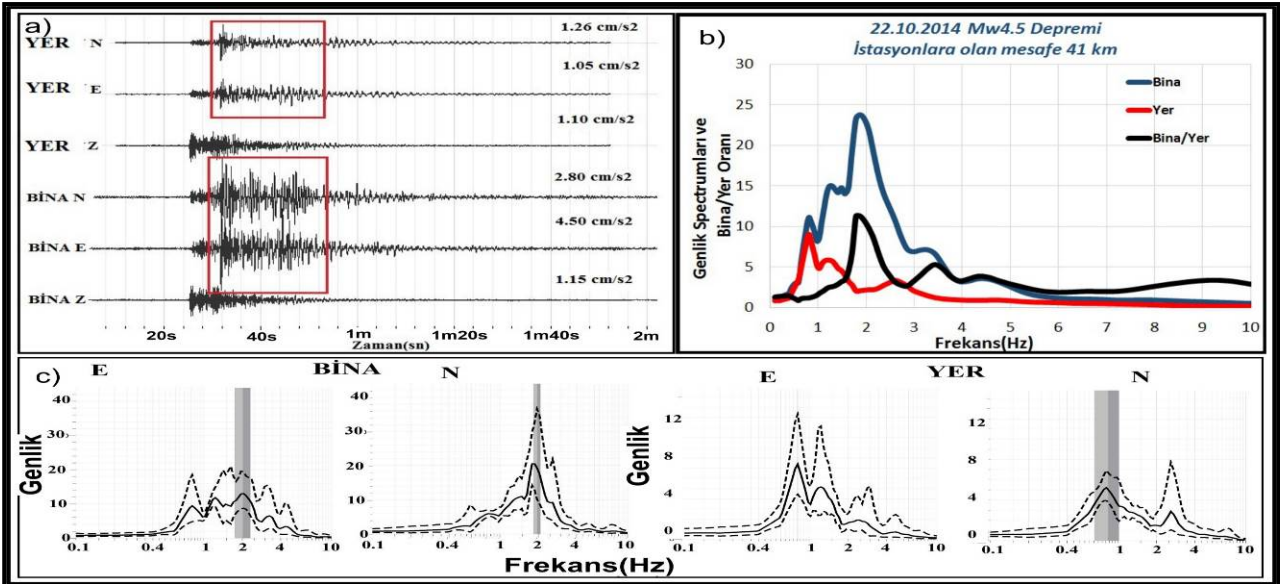
Şekil 9. a) 03.10.2010 Mw 4,4 depremi ivme kayıtları (bina ve yer) ve seçilen S fazı, b) Yatay spektrumların bileşkesi ve bina/yer oranı, c) Bina ve yer yatay bileşen spektrumları



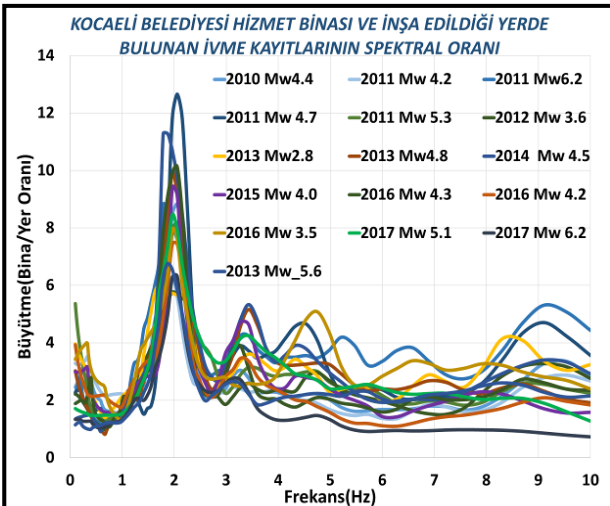
Şekil 10. a) 25.07.2011 Mw 5,3 depremi ivme kayıtları (bina ve yer) ve seçilen S fazı, b) Yatay spektrumların bileşkesi ve bina/yer oranı, c) Bina ve yer yatay bileşen spektrumları



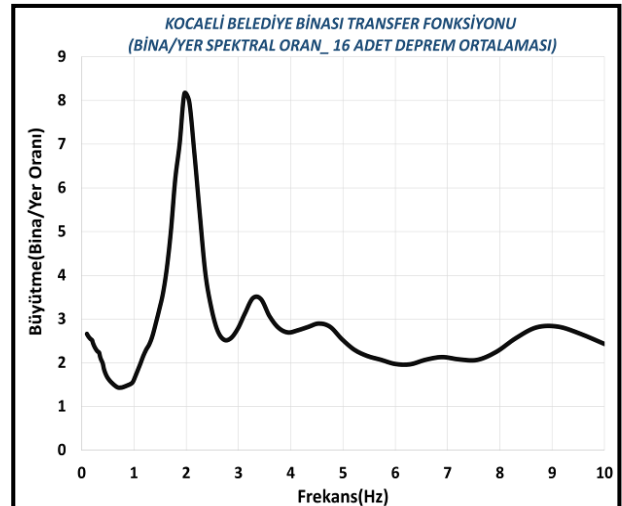
Şekil 11. a) 24.11.2013 Mw4.9 depremi ivme kayıtları (bina ve yer) ve seçilen S fazi, b) Yatay spektrumların bileşkesi ve bina/yer oranı, c) Bina ve yer yatay bileşen spektrumları



Şekil 12. a) 22.10.2014 Mw 4,5 depremi ivme kayıtları (bina ve yer) ve seçilen S fazi, b) Yatay spektrumların bileşkesi ve bina/yer oranı, c) Bina ve yer yatay bileşen spektrumları



Şekil 13. Yapıda ve yerde kaydedilen 16 adet deprem kaydının spektral oran yöntemi (SSR) büyütme sonuçları



Şekil 14. Bina büyütmesi için SSR Yöntemi sonuçlarının ortalaması

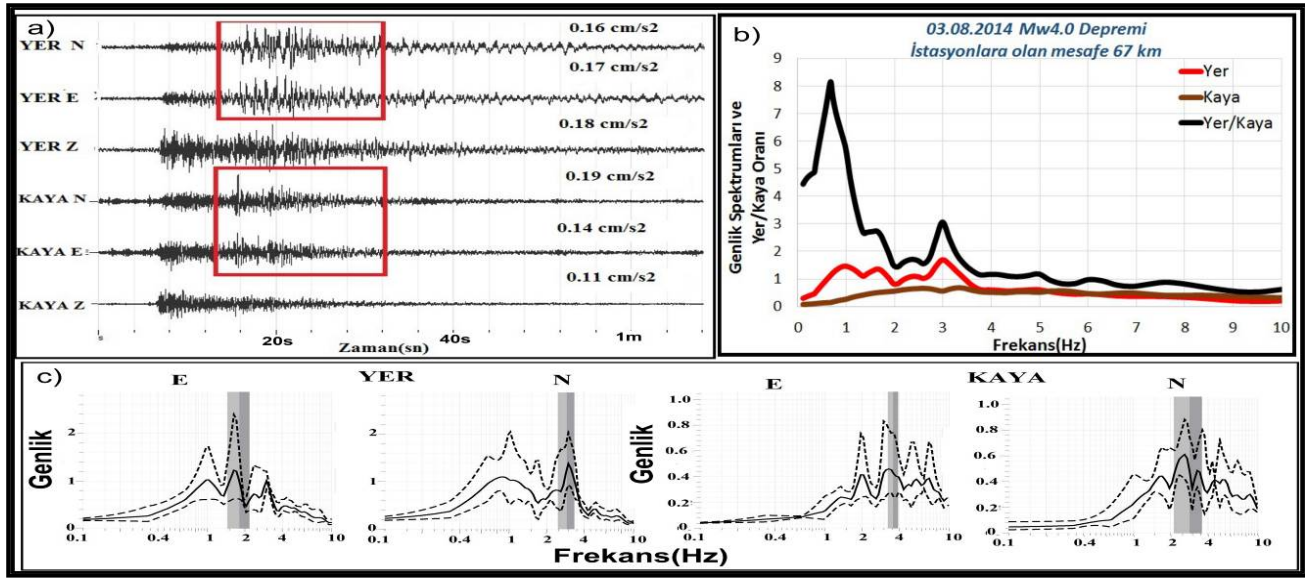
### 3.2.1.2. Yer/Kaya SSR yöntemi sonuçları

Yer baskın salınım frekansı ve büyütmesini belirlemek için Tablo 2’de verilen farklı magnitüd ve lokasyonlardaki 5 adet depreme ait 10 ivme kaydı kullanılmıştır. Depremlere ait örnekler Şekil 15 ve Şekil 16’te sunulmuştur. Sunuş sırası a grafiğinde yer ve kaya kurulu bulunan ivme kayıtlarında seçilen S dalga penceresi belirtilmiştir. Kayıtların a) grafiğinin sağ üst köşesinde istasyonun kayıt ettiği PGA değerleri  $\text{cm/s}^2$  biriminden verilmiştir. b) grafiğinde seçilen S dalga fazının FFT si alınarak frekans ortamına geçilmiş ve yön bağımlılığından kurtulmak için iki yatay bileşenin birleştirilmiştir. Yer büyütmesi ve baskın frekansının bulunması için kayadaki istasyon referans istasyon olarak düşünülmüş ve yer kaydı kaya frekansına oranlanmış sonuçlar ayrı ayrı grafiklenmiştir. c) grafiğinde ise kayıtların seçilen S

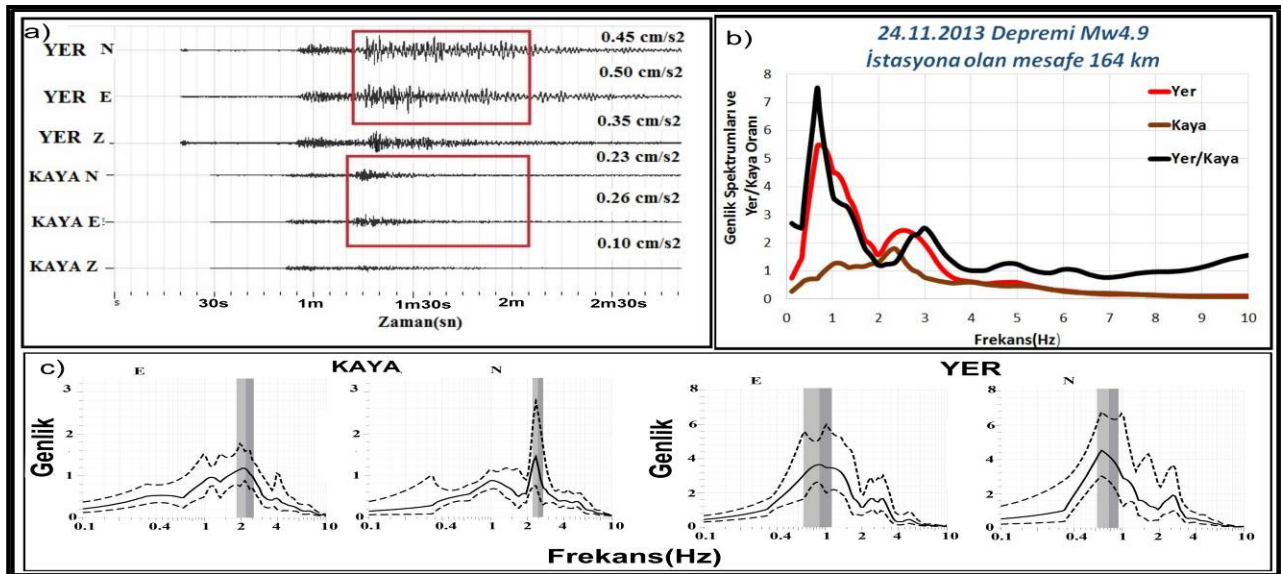
fazının Spektrumları iki yatay bileşeni ayrı ayrı sunulmuştur.

Şekil 17’de 5 adet depremden elde edilen transfer fonksiyonları bulunmuştur. Şekil 18’de ise bu 5 adet depremin sonucunun ortalaması bulunmaktadır. Spektral oran yönteminde yer baskın salınım frekansı 0,7 Hz bulunmuştur.

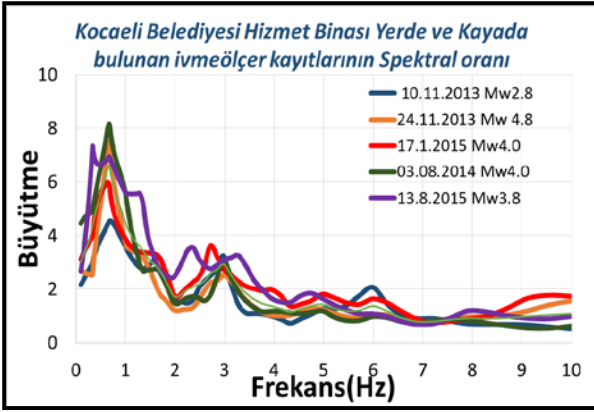
Kullanılan 5 adet deprem ivme kaydının analizleri sonucunda baskın salınım frekans 0.67-0.70 Hz büyütme oranı ise yaklaşık 6,5 olarak bulunmuştur. Ancak referans olarak kullanılan deprem istasyonunun yüzeylenmiş anakaya olmaması nedeniyle baskın frekansta diğer yöntemlere göre küçükte olsa farklılıklar mevcuttur. Diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında referans istasyonun kaliteli olmamasına karşın baskın frekans değeri diğer yöntemlerin sonuçları ile benzerlik göstermektedir.



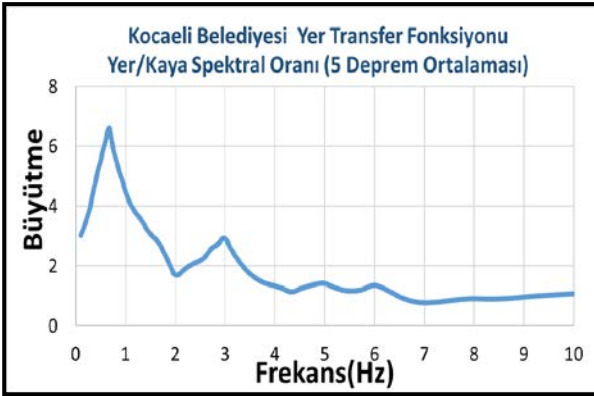
Şekil 15. a) 03.08.2014 Depremi Mw4.0 deprem kaydı ve seçilen S fazi, b) Yatay spektrumların bileşkesi ve yer/kaya oranı, c) Yer ve kaya yatay bileşen spektrumları



Şekil 16. a) 24.11.2013 Mw 4,9 deprem kaydı ve seçilen S fazi, b) Yatay spektrumların bileşkesi ve yer/kaya oranı, c) Yer ve kaya yatay bileşen spektrumları



Şekil 17. Yerde ve kayada kaydedilen 5 adet deprem kaydının spektral oran yöntemine (SSR) göre değerlendirilmesi



Şekil 18. Yer büyütmesi için SSR yöntemi sonuçlarının ortalaması

### 3.2.2. Yatay/Düşey spektral oran yöntemi

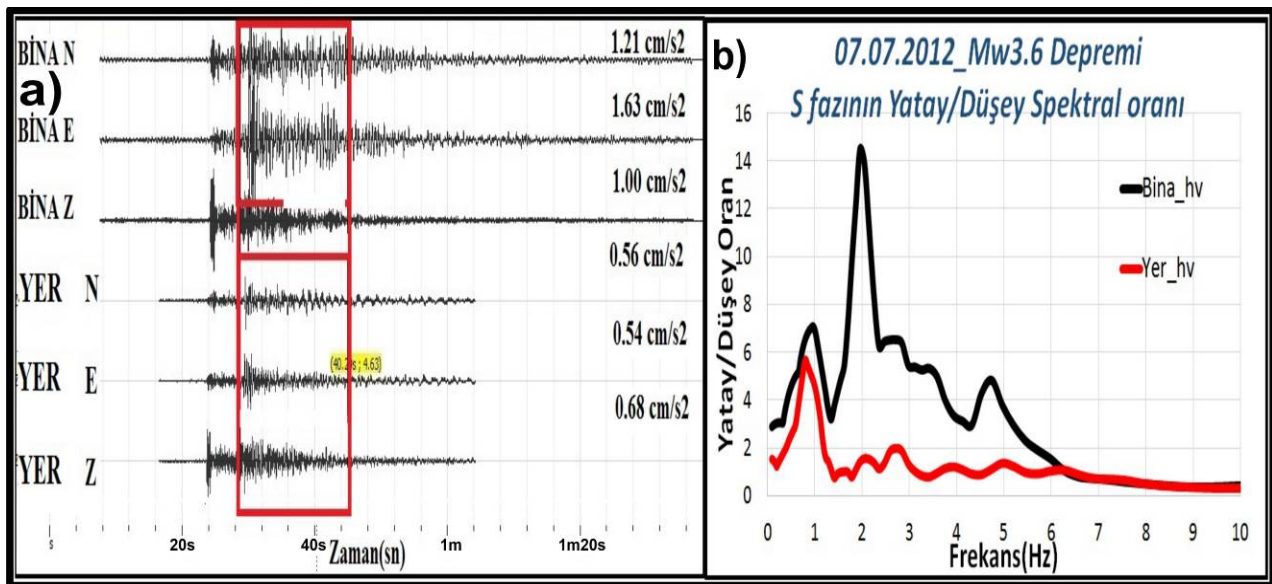
Depremde kaydedilen ivme kayıtları ile büyütme ve baskın frekans hesaplamasında iki adet yatay bileşen spektrumunun düşey bileşene spektrumu spektral

oran (HVSr) yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan depremler yer ve binada kaydedilen 16 adet deprem olup Tablo 1'de verilmiştir. Her bir istasyon tarafından kaydedilen depremlerin 3 bileşene ait spektral oranları hesaplandıktan sonra yatay bileşenlerin ortalaması, düşey bileşene oranlanmıştır. Şekil 19-22'de örnek olarak 4 adet deprem kaydı gösterilmiştir.

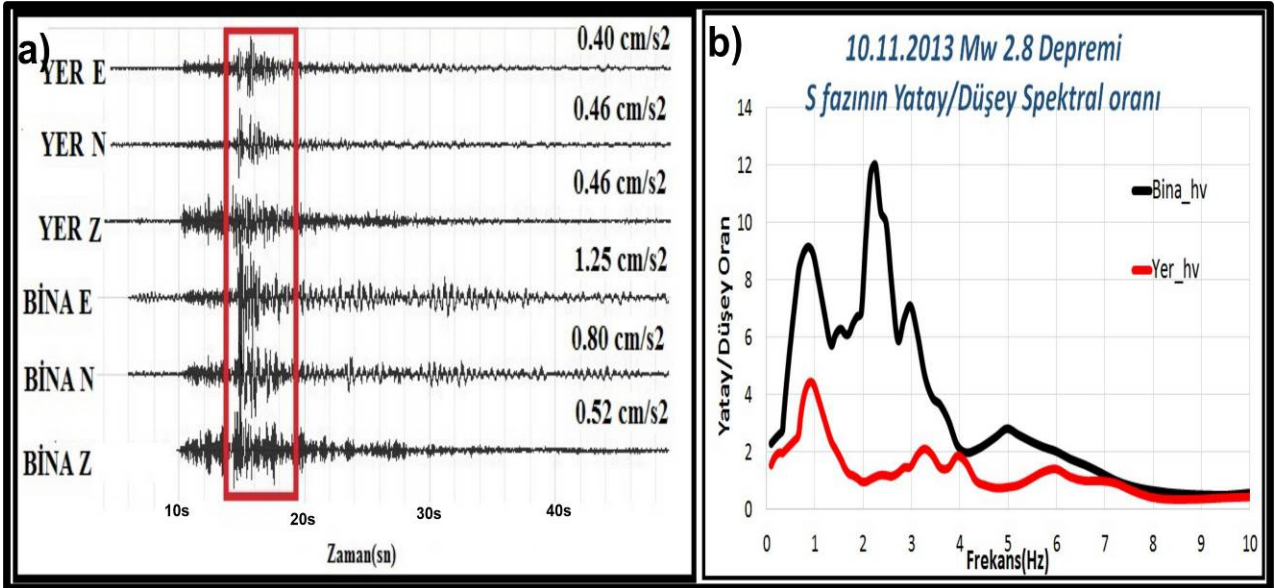
Büyütme analizi için deprem kayıtlarının yalnızca S dalga penceresi kullanılmıştır. Her kayıt için uygulanan işlemler tamamen aynı olup, 0,1-20 Hz arasında Butterworth, Band-Pass pencereleme uygulanmış, veri başına ve sonuna %5 kosinüs fonksiyonu ile yuvarlatıldıktan sonra FFT ile spektrumları hesaplanmıştır, daha sonra spektrumlara yuvarlatma (Konno ve Ohmachi, b=40) işlemi yapılmıştır [29].

Yöntemin, hareketin düşey bileşeninin yerel jeolojiden etkilenmediği varsayımı nedeniyle, bulacağımız değer, bize o istasyona ait büyütme ve baskın frekans değerini verir. Her bir istasyon için spektral oran ve büyütme değeri hesaplanmıştır. Bu spektral oran ve büyütme değerlerinin geometrik ortalaması alınarak her bir istasyon için tek bir yer büyütme fonksiyonu ve baskın frekans değeri elde edilmiştir. Kullanılan veri işlem aşamaları aşağıda belirtilmiştir.

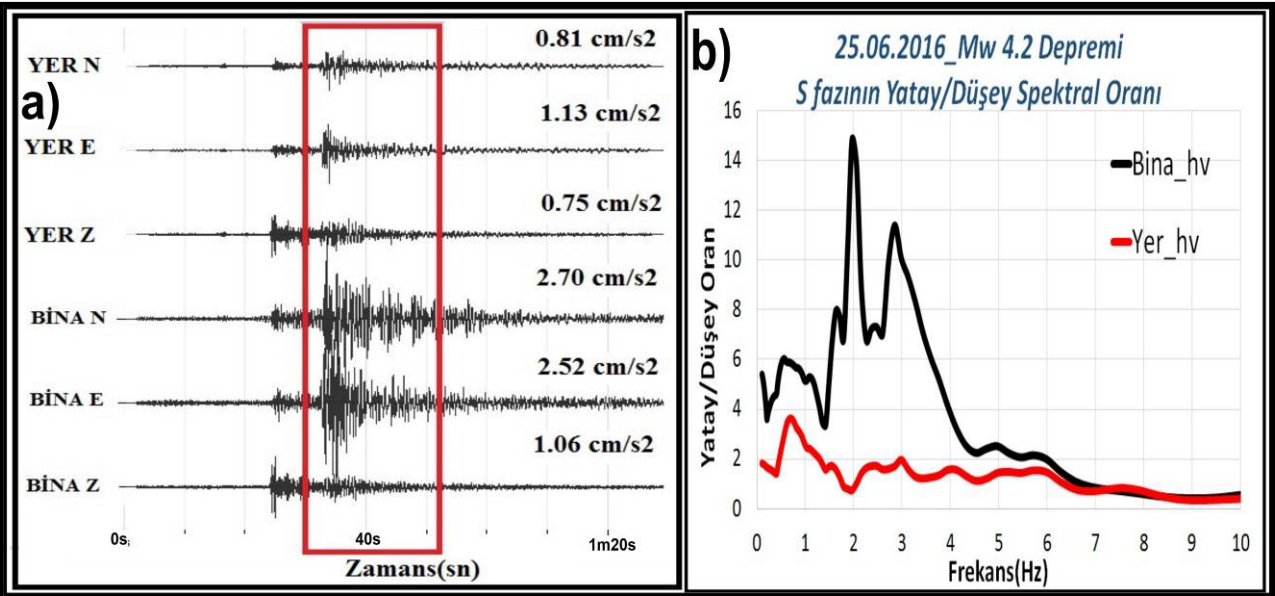
- Eğilim etkisi giderimi
- Filtreleme işlemi (Band pass, 0,1-20 Hz)
- Pencereleme işlemi
- Törpüleme işlemi (taper, %5)
- Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT)
- Yuvarlatma işlemi (Konno ve Ohmachi, b=40)
- Yatay/Düşey oranı hesabı



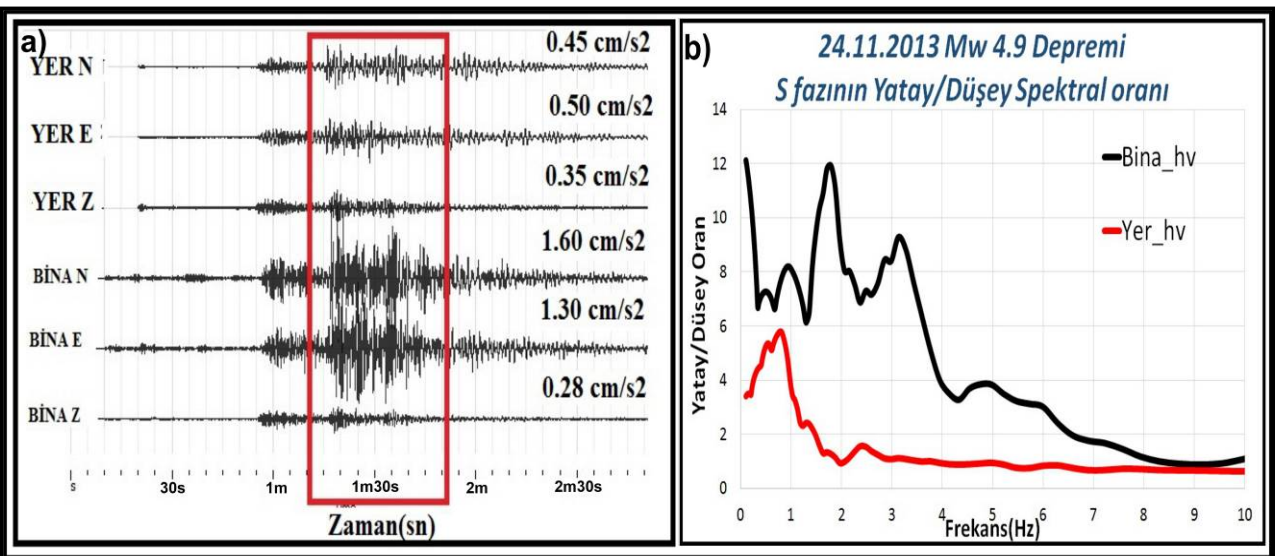
Şekil 19. a) 07.07.2012 Mw 3,6 deprem kaydı ve seçilen S fazi, b) Bina ve yer için yatay/düşey oran spektrumları



Şekil 20. a) 10.11.2013 Mw 2,8 deprem kaydı ve seçilen S fazı, b) Bina ve yer için yatay/düsey oran spektrumları



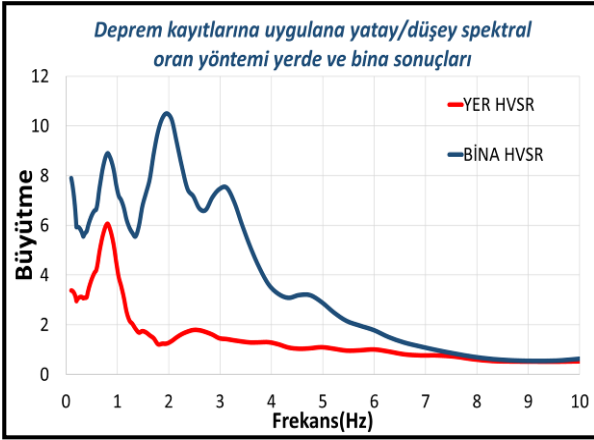
Şekil 21. a) 25.06.2016 Mw 4,2 deprem kaydı ve seçilen S fazı, b) Bina ve yer için yatay/düsey oran spektrumları



Şekil 22. a) 24.11.2013 Mw 4,9 deprem kaydı ve seçilen S fazı, b) Bina ve yer için yatay/düsey oran spektrumları



Şekil 19-22'de görülen dört adet grafikte, a da bina ve yerde kaydedilen deprem kayıtları ve seçilen S fazı, b de ise Seçilen S fazında yatay bileşenlerin düşey bileşenlere oranlanması sonucu binada ve yerde hesaplanan transfer fonksiyonu görülmektedir. Şekil 23' te ise 16 adet deprem sonuçlarını görmekteyiz.



Şekil 23. HVSR yöntemine göre ortalama yer ve bina büyütmeleri

Deprem kayıtlarının S fazının uygulanan HVSR (yatay/düşey spektral oran) yönteminin Şekil 23'de verilen sonuçlarına bakıldığında yer baskın salınım frekansı 0,8 Hz büyütme değeri ise yaklaşık 6 civarında hesaplanmıştır. Bina sonuçlarına baktığımız zaman ise 2 Hz frekansında net bir keskin doruk noktası görülmektedir. Ayrıca yapı transfer fonksiyonunda 0,8 Hz frekansında bir doruk görünmekte olup bu doruk yer etkisi olarak yorumlanmıştır. Şekil 23'de görüldüğü üzere 0,8 Hz frekansında hem binada hem de yerde baskın doruklar görülmüştür. Bu etkinin binanın temelinin şerit temel olmasından kaynaklanması düşünülmektedir. Bina büyütme değeri ise bu yöntemde diğer yöntemlere göre daha fazla çıkmış olup bunun sebebi binanın düşey bileşenindeki spektrumların değerlerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

### 3.3. Bina yer girişim durumu

Yapılan analizler sonucunda doğal yer baskın salınım frekansı yaklaşık 0,8 Hz, titreşim periyodu 1.25 sn, bina frekansı 2 Hz, titreşim periyodu ise 0,5 sn olarak hesaplanmıştır. Kocaeli Belediyesi Hizmet binasının girişim durumunu incelemek amacıyla 2 adet çalışma yapılmıştır.

Birinci analizde söz konusu bina eski esnek bina olduğundan sertlik değeri  $C=0,1$  veya  $C= 0,12$  alınabilir. Bu değerlere göre;

$$T_a = 0.5T \quad (4)$$

$$T_b = 1.5T \quad (5)$$

$$T_a = 0.5 \cdot 1.25 = 0.625 \text{ sn} \quad \text{ve} \quad T_b = 1.5 \cdot 1.25 = 1.875 \text{ sn}$$

$$N_1 = T_a / C \quad (6)$$

$$N_2 = T_b / C \quad (7)$$

$N_1 = (0.625 / 0.10) = 6.25$  ve  $N_2 = (1.875 / 0.10) = 18.75$  olarak bulunmuştur. Burada  $T_a$ , alt periyod ve  $T_b$ , üst periyod değeridir. Söz konusu bölgede  $N_1=6.25$ ,  $N_2=18.75$  kat adetleri arasında girişim bölgesinde yer olanlarda girişim hasarı olacağı düşünülmüştür. Hizmet binası 5 katlı olması dolayısıyla girişim bölgesi dışında kaldığı düşünülmektedir.

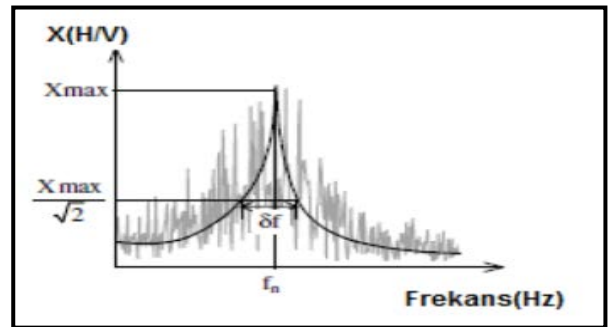
İkinci analizde [14] tarafından önerilen denklem kullanılmıştır. Bu sistemde bina spektrumunun yer spektrumu arasındaki oranlar kullanılarak girişim tehlike seviyeleri belirlenmiştir. Bu tehlike seviyeleri 3 gruba ayrılmıştır. Yüksek seviye, oran değeri  $< 15$  (bina frekansı ile yer arasındaki fark) olduğunda, orta seviye, oran değeri  $15-25$  olduğunda ve oran  $> 25$  olduğunda düşük seviyededir.

Serbest alan frekansımız 0,8 Hz bina baskın frekansımız 2 Hz olması sebebi ile bina ve yer arasındaki frekans farkı  $> 25$  den fazla olması sebebi ile girişim çekincesinin düşük olduğunu söyleyebiliriz.

Yapılan iki analiz sonucunda binanın girişim bölgesi dışında kaldığı düşünülmektedir.

### 3.4. Bina sönüm oranı

Sönüm oranı yer ve yapılar için önemli bir dinamik parametredir. Sönüm arttıkça yapıya gelen deprem yükü azalabilir. H/V spektrumundan yarı-güç band genişliği (Half-Power Bandwidth) yöntemiyle elde edilir.



Şekil 24. Sönüm oranı hesaplama yöntemi

Sönüm oranı, yarı-güç band genişliği yöntemiyle belirlenen değerlerin aşağıdaki formülde yerlerine yazılmasıyla hesaplanır.

$$\delta_n = \frac{1}{2} \times \frac{\delta_f}{f_n} \quad (8)$$

Burada  $\delta_n$  Sönüm oranı  $f_n$  yapının baskın salınım frekansını ifade eder. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi binasında bulunan ivmeölçer istasyonu verilerinin sonucunda Kocaeli Belediyesi hizmet binasının sönüm oranı %12 olarak hesaplanmıştır.

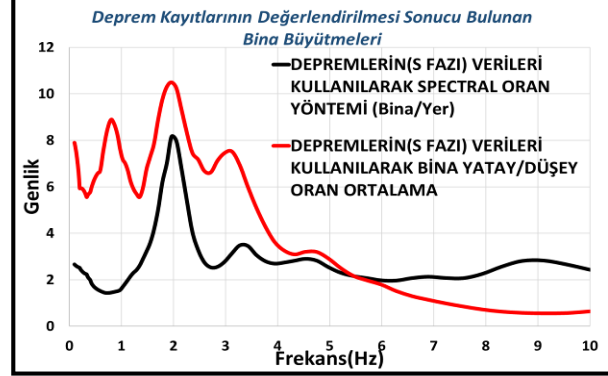
### 3.5. Deprem kayıtları analizlerinin karşılaştırılması

Bina ve yerde bulunan ivmeölçer istasyonlarının kaydettiği ivme kayıtları SSR ve HVSR yöntemlerine göre değerlendirilmiş baskın salınım frekansları ve büyütme değerleri bulunmuştur.

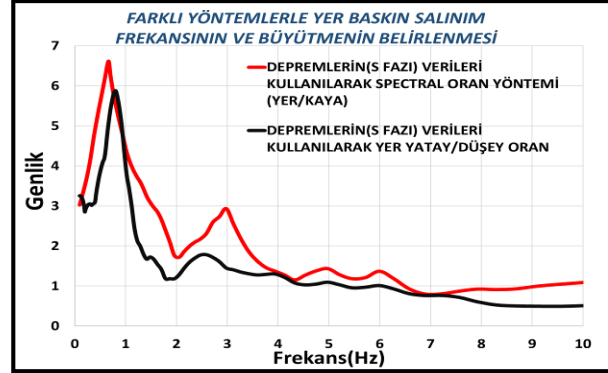
Binada yapılan çalışmalarda (deprem kayıtlarının iki farklı yöntemle değerlendirilmesi) yaklaşık 2 Hz frekansında büyütme tespit edilmiş olup bunun bina frekansı olduğu düşünülmektedir. Bu frekansta SSR yöntemi değerlendirilmesi sonucu büyütme değeri yaklaşık olarak 8 kattır. Ancak deprem kayıtlarının S fazı kullanılarak HVSR tekniğinin çıktılarına baktığımızda aynı frekansta büyütme değerinin 10 kat olduğunu görebiliyoruz.

Şekil 25'te bina içerisinde yapılan tüm çalışmaların sonuçları sunulmuş olup, tüm yöntemlerde bina frekansı 2 Hz olarak bulunmuştur. Binada deprem kayıtlarının yatay/düşey spektral oran tekniğine göre değerlendirilen kayıtların tamamında 0,8 Hz civarında yer etkisi gözlenmiş olup bu etki SSR tekniğinde bulunmamaktadır. Bunun sebebi bina kayıtlarından yer etkisinin giderilmesidir. Bu nedenden dolayı binada 0,8 Hz frekansındaki bu doruk noktasının yer etkisi olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar Tablo 3'te gösterilmeye çalışılmıştır.

Yerde yapılan çalışmalarda yer baskın salınım frekansı 0.77-0.81 (Ortalama 0,8) Hz civarında tespit edilmiş olup büyütme değerleri yaklaşık 6 kattır. SSR yöntemini uygulamanın sonucunda bulunan frekans değeri diğer yöntemlerde bulunan baskın frekanstan çok az farklıdır. Sonuçlar Tablo 4'te gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 25. Binada kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması



Şekil 26. Yerde yapılan SSR ve HVSR yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırılması

**Tablo 3.** Bina büyütmesi için kullanılan yöntemlerin (SSR ve HVSR) sonuçları

Mw	Uzaklık (km)	SSR Yöntemi			HVSR Yöntemi		
		f (Hz)	T <sub>0</sub> (sn)	Bina/Yer büyütmeleri	f (Hz)	T <sub>0</sub> (sn)	H/V büyütmeleri
4,4	147	2,05	0,49	8,8	2,15	0,47	8,5
4,2	15	1,96	0,51	6,2	1,96	0,51	14
4,7	69	2,05	0,49	12,6	2,05	0,49	12,3
6,2	195	1,78	0,56	8,8	1,78	0,56	11,5
5,3	184	2,05	0,49	7,2	2,05	0,49	9,6
3,6	40	2,05	0,49	5,6	2,05	0,49	14
5,6	386	1,87	0,53	6,7	1,96	0,51	11,2
2,8	30	1,7	0,59	6	2,05	0,49	12
4,9	164	1,96	0,51	10	1,96	0,51	12
4,5	41	1,87	0,53	11,2	1,7	0,59	11
4	105	1,96	0,51	9,4	1,96	0,51	15
4,3	86	2,05	0,49	10	1,96	0,51	11,9
4,2	61	2,05	0,49	7,4	1,96	0,51	14
3,5	18	1,96	0,51	8	2,15	0,47	9
5,1	286	1,96	0,51	8,4	1,87	0,53	11,4
6,2	372	2,05	0,49	6,3	1,96	0,51	9,7
<b>Ortalama</b>		<b>1,96</b>	<b>0,51</b>	<b>8,3</b>	<b>1,97</b>	<b>0,51</b>	<b>11,6</b>

**Tablo 4.** Yer büyütmesi için kullanılan yöntemlerin (SSR ve HVSR) sonuçları

Yöntem	f (Hz)	T <sub>0</sub> (sn)	Büyütme
SSR	0,8	1,25	6
HVSR	0,7	1,42	6,5

#### 4. Sonuçlar

Kocaeli Belediyesi hizmet binasına ve bahçesine yapı sağlığı izleme amacıyla kurulan iki sabit ivmeölçer aygıtının kaydettiği deprem (ivme kaydı) kayıtlarının farklı yöntemlerle (SSR, HVSR) değerlendirilmiş, yer ve binaya ait büyütme oranı ve baskın salınım frekansları belirlenmiştir.

Yapının inşa edildiği yere kurulan ivmeölçer istasyonunun yer sınıfının belirlenmesi amacıyla yapılan MASW etüdünden elde edilen  $V_{S30}=147$  m/s ve NERHP sınıflamasına göre yer sınıfı yumuşak topraklar (E) olarak elde edilmiştir.  $V_s$  ve  $V_{S30}$  kullanılarak yerin baskın salınım periyodu 1,25 ve 1,23 sn olarak belirlenmiştir. Benzer değerler SSR ya da HVSR yöntemlerinin sonucunda da elde edilmiştir. Ayrıca yerin alt ve üst periyodları 0,625 sn ve 1,875 sn olarak belirlenmiştir.

SSR ve HVSR yöntemlerinin ortak sonucu olarak bina baskın salınım frekansı 2 Hz (periyot 0,5 sn) olarak belirlenmiştir. Bu durum, iki yönteminde yer-yapı etkileşim çalışmalarında kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca bu çalışmada 5 katlı yapı için bulunan binanın baskın salınım frekansı, rezonans açısından yer frekansı ile karşılaştırıldığında yerin alt ve üst frekanslarının dışında kaldığı için uygun bir frekans olduğu düşünülmektedir.

Büyütmelerde özellikle deprem kayıtlarının S fazlarına uygulanan HVSR yönteminde SSR yöntemine göre daha yüksek doruk değerleri gözlenmiştir. Deprem kayıtlarının S fazlarının tek istasyon yöntemine göre değerlendirilmelerinde 0,8 Hz frekansında yer etkisi gözlenmiş olup, SSR yönteminde binanın inşa edildiği yer, referans istasyon olarak kullanıldığından dolayı bu etki giderilmiş ve saf bina frekansı elde edilmiştir. Binada yer frekans etkisinin HVSR yönteminde doğrudan görülmesinin sebebi bina temelinin radye temel olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

SSR ve HVSR yöntemlerinin sonuçlarına göre yakın depremlerde depremin büyüklüğüne bağlı olarak daha büyük bina büyütmesi elde edilmiştir. Fakat depremin büyüklüğüne ve uzaklığına bağlı bina baskın salınım periyodunda önemli bir değişiklik görülmemektedir.

Bu çalışmada da görüleceği üzere binanın statik projesinde belirtilen bina baskın salınım periyodunun uygun yapılip yapılmadığı ve bina tepkisinin belirlenmesinde deprem kayıtlarının

analizlerinin uygun sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre 2 farklı yöntemde (SSR ve HVSR) yer-yapı etkileşimi çalışmalarında baskın salınım periyodunda etkili olarak kullanılabileceğini ancak bina büyütme değerinde SSR yönteminin daha doğru sonuç verdiği düşünülmektedir.

Yeni Deprem yönetmeliği ile yüksek yapılara kurulacak olan yapı sağlığı izleme sistemlerinin yapılar hakkında vereceği bilgilerin ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca bu sistemlerde yapının yanında inşa edildiği yer koşullarına ivmeölçer kurulması gerekmektedir.

#### Teşekkür

Çalışmada kullanılan ivmeölçer aygıtlarının kurulması, sürekli olarak çalıştırılması ve verilerinin sorunsuz kaydedilmesini sağlayan Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Zemin ve Deprem Şube Müdürlüğü çalışanlarına ve Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı(AFAD), Deprem Dairesi Başkanlığı Türkiye Kuvvetli Yer hareketi ve Ön hasar Tahmin Sistemleri Çalışma Grubu çalışanlarına sonsuz teşekkür ederiz.

#### Kaynakça

- [1] Irikura, K., Iwata, T., Sekiguchi, H., Pitarka, A.,1996. Lessons from the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake: why where such destructive motions generated to buildings? Journal of Natural Disaster Science, 17(2), 99-127.
- [2] Borchardt R. D., 1970. Effects of Local Geology on Ground Motion Near San Francisco Bay. Bulletin of The Seismological Society of America, 60, 29-61.
- [3] Steidl J. H., Tumarkin A. G., Archuleta R. J., 1996. What is a reference side? Bull Seism. Soc. Am., 86, 1733-1748.
- [4] Nakamura Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute, 30(1), 25-33.
- [5] Lermo J., Chavez G. F. J., 1993. Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with Only One Station. Bulletin Seismological Society of America, 83, 1574-1594.
- [6] Yalçınkaya, E., Alptekin, Ö., 2003. Dinar'da zemin büyütmesi ve 1 Ekim 1995 depreminde gözlenen hasarla ilişkisi. Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni,27,1-13.
- [7] Gök E., Keçecioğlu M., Çeken U., Polat O., 2012. İzmirnet İstasyonlarında Standart Spektral Oran Yöntemi Kullanılarak Zemin Transfer

- Fonksiyonlarının Hesaplanması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(41), 1-11.
- [8] Uyanık O., Çatlıoğlu B., Uyanık NA., Öncü Z., Sabbağ N., 2012a. Kentsel Dönüşüm Projelerinde Betonarme Yapıların Beton Kalitesinin Sismik Ultrasonik Hızlardan Belirlenmesi. 1.Yerbilimleri Sempozyumu, 18-20 Ekim, Isparta, 147-151.
- [9] Uyanık O., Sabbağ N., Çatlıoğlu B., Uyanık NA., Öncü Z., 2012b. Sismik Ultrasonik Hızlardan Kayaçların Kırıklılık Ve Fissür İndekslerinin Belirlenmesi. 1. Yerbilimleri Sempozyumu, 18-20 Ekim, Isparta, 159-164.
- [10] Uyanık O., Çatlıoğlu B., Sabbağ N., Öncü Z., Uyanık NA., 2012c. Kayaçların Fiziksel Özellikleri İle Sismik Ultrasonik Hızlar Arasındaki İlişkilendirmeler. 1. Yerbilimleri Sempozyumu, Isparta, 165-169.
- [11] Sabbağ N., Uyanık O., 2017. Prediction of Reinforced Concrete Strength by Ultrasonic Velocities. Journal of Applied Geophysics, 141, 13-23.
- [12] Sabbağ, N., Uyanık, O., 2018. Determination of the reinforced concrete strength by electrical resistivity depending on the curing conditions, Journal of Applied Geophysics, 155, 13-25.
- [13] Karabulut, S., Ozel O., Özçep F., 2009. Deprem Tehtidi Altındaki Mühendislik Yapılarının Hakim Titreşim Periyotlarının Belirlenmesinde Yeni Bir Seçenek: Mikrotremor Yöntemi Ve Örnek Uygulaması. New World Science Academy, 4(3), 428-441
- [14] Gosar, A., Roser, J., Sket Motnikar, B. Zupansis, P. 2010. Microtremor study of side effects and soil-structure resonance in the city of Ljubljana (central Slovenia). B. Earthq. Eng., 8, 571-592.
- [15] Uyanık O., 2014. Jeofizik ve Klasik Yöntemlerle Yapı İncelemeleri (Yapı Jeofiziği). JFMO Eğitim Yayınları No:19, s: 80, ISBN:978-605-01-0643-5.
- [16] Timur E., Ozicer S., Sari C., Uyanik O.. 2015. Determination of Buildings Period and Vulnerability Index Using Microtremor Measurements. 8th Congress of the Balkan Geophysical Society (EAGE) 5-8 October 2015, Chania, Greece.
- [17] Öziçer S. 2016. Jeofizik Yöntemler ile Riskli Yapıların Belirlenmesi ve İzmir Örneği. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Müh. Anabilim dalı. s:93.
- [18] Öziçer S., Uyanık O., Timur E., 2017. Investigation of Period and Resonance Risk of Buildings with Various Heights Using Microtremor Method. 9th Congress of the Balkan Geophysical Society 5-9 November 2017, Antalya, Turkey
- [19] Özmen, B., 2000, 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle), TDV/DR 010-53, Türkiye Deprem Vakfı, 132 s.
- [20] McMechan, G.A., Yedlin, M.J., 1981. Analysis of dispersive waves by wave field transformation. Geophysics 46, 869-874.
- [21] Gabriels, P., Snieder, R., Nolet, G., 1987. In situ measurement of shear wave velocity in sediments with higher-mode Rayleigh waves. Geophysical Prospecting 35, 187-196.
- [22] Tselentis, G.-A., Delis, G., 1998. Rapid assessment of S-wave profiles from the inversion of multichannel surface wave dispersion data. Annali di Geofisica 41 (1), 1-15.
- [23] Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., 1999. Multi-channel analysis of surface waves. Geophysics 64 (3), 800-808.
- [24] Dorman, J., Ewing, M., 1962. Numerical inversion of seismic surface wave dispersion data and crust-mantle structure in the New York-Pennsylvania area. Journal of Geophysical Research 67, 5227-5241.
- [25] Uyanık, O., Ekinci B., Uyanık N.A. (2013). Liquefaction analysis from seismic velocities and determination of lagoon limits Kumluca/Antalya example. Journal of Applied Geophysics 95 (2013) 90-103
- [26] Uyanık, O., 2015. Deprem Ağır Hasar Alanlarının Önceden Belirlenmesi ve Şehir Planlaması için Makro ve Mikro Bölgelendirmelerin Önemi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(2), 24-38.
- [27] Pitilakis, K., 2004, "Site Effects, Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation", Ansal (Ed), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Nederland, 354p
- [28] Sesame, 2004. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations, Measurements Processing and Interpretation.
- [29] Konno K., Ohmachi T., 1998. Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components. Bulletin of the Seismological Society of America, 88, 1, 228-241.

## Patlıcanda (*Solanum melongena* L.) Mikrospor Kültürü Üzerine Bir Ön Araştırma

Buse ÖZDEMİR ÇELİK<sup>1</sup>, Ahmet Naci ONUS<sup>\*2</sup>

<sup>1,2</sup>Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 07058, Antalya

<sup>1</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5108-8124>)

<sup>2</sup>(ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8615-1480>)

(Alınış / Received: 06.06.2018, Kabul / Accepted: 29.01.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 11.03.2019)

### Anahtar Kelimeler

Patlıcan,  
Mikrospor kültürü,  
Haploid,  
DH,  
Mikrospor embriyogenesis

**Özet:** Mikrospor embriyogenesis olgunlaşmamış erkek gametofitlerin *in vitro* kültür süresince gametofitik gelişimden embriyo oluşturmak üzere uyarıldığı bir sistemdir. Bu çalışmada, iki adet patlıcan (*Solanum melongena* L.) çeşidinin mikrospor kültür tekniğine tepkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, ilk olarak uygun mikrospor gelişme dönemindeki mikrosporlar (çoğunluğu vakuol mikrospor ve genç çift çekirdekli polen) anterlerden izole edilerek 35°C'de 3 gün karanlık koşullarda ön uygulamaya maruz bırakılmıştır. Ön uygulama işleminden sonra mikrosporlar %2 sakkaroz, 0.5 mg/l naphthaleneacetic acid (NAA) ve 0.5 mg/l 6-benzylaminopurine (BAP), pH 5.9, içeren NLN ortamında kültüre alınmış ve bir ay boyunca 25°C'de karanlıkta bekletilmiştir. Kültür süreci boyunca mikrospor embriyogenesis induksiyon süreci mikroskopik olarak analiz edilerek bu gelişimsel sapmanın ilk evrelerine odaklanılmıştır. Mikrosporların induksiyondan hemen sonra kallus haline gelmeden önce simetrik bölünme ve çok çekirdekli yapılar meydana getirdiği daha sonra ise mikrosporların direkt embriyo oluşturmadıkları ve kallus oluşturduğu tespit edilmiştir. Araştırmada bir ay sonunda mikrospordan yalnızca kallus oluşumu meydana gelmiştir ve petri başına toplam kallus sayısı belirlenmiştir. G07-1 çeşidinde ortalama 288 kallus/petri elde edilirken G07-2 çeşidinde 64 kallus/petri meydana gelmiştir. Bu araştırmanın mikrospor kültürü tekniğinin geliştirilebilmesi üzerine hem uygulamalı, hem de temel araştırmalar için yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

## A Preliminary Research on Microspore Culture in Eggplant (*Solanum melongena* L.)

### Keywords

Eggplant,  
Microspore culture,  
Haploid,  
DH,  
Microspore embryogenesis

**Abstract:** Microspore embryogenesis is a process in which immature male gametophytes are induced to divert them from their gametophytic pathway toward embryo development during *in vitro* culture. In this study, therefore, it was aimed to determine the response of two eggplant cultivars to microspore culture. For this purpose, the microspores were firstly isolated from the anthers at the appropriate stage of microspore development (containing mostly vacuolate microspores and young bicellular pollen) and subjected to pre-treatment at 35°C for 3 days in dark conditions. After pre-treatment, the microspores were cultured in liquid NLN culture medium supplemented with 2% sucrose, 0.5 mg/l naphthaleneacetic acid (NAA), and 0.5 mg/l, 6-benzylaminopurine (BAP), pH 5.9, and kept in the dark at 25°C for one month. During this culture process, the microspore embryogenesis induction was microscopically analyzed and focused on the initial stages of this developmental process. Immediately after induction, before the microspores develop into callus, they were induced to divide symmetrically and form multinucleated structures, and then microspores did not form direct embryos and formed callus. At the end of one month, only callus formation occurred from microspores and total callus number per petri was analyzed. The average calli for G07-1 cultivars was 288 calli/petri, while it was 64 calli/petri dish for G07-2 cultivars. It is thought that this research will guide both practical and basic researches on the development of microspore culture technique.

## 1. Giriş

Double haploid (DH) teknolojisi hibrit tohum üretimi için gerekli homozigot saf hatların tek bir generasyonda elde edilmesine olanak sağlaması ve ıslah programlarını hızlandırması nedeniyle klasik ıslah tekniklerine bir alternatif oluşturmaktadır [1, 2, 3]. DH bitkileri elde etmenin en etkili yollarından birisi de mikrospor embriyogenesistir.

Mikrospor embriyogenesis olgunlaşmamış erkek gametofitlerin *in vitro* kültür süresince anter kültürü veya mikrospor kültürü yöntemleri kullanılarak gametofitik gelişimden embriyo oluşturmak üzere uyarıldığı bir sistemdir. Mikrospor kültüründe haploid bitkiler mikrospordan elde edilen embriyolardan direkt olarak veya mikrospordan elde edilen kalluslardan organogenesis yoluyla indirekt olarak elde edilebilmektedir [4]. Bu haploid embriyolar ya kendiliğinden ya da kromozom katlama maddeleri ile muamele edildikten sonra homozigot DH bitkilere dönüştürülebilmekte ve ıslah programlarında kullanılabilir. Bu olgu angiospermlerde 250'den fazla tür için tanımlanmıştır [5]. Bunlardan yalnızca kolza (*Brassica napus* L.), tütün (*Nicotiana* spp.), arpa (*Hordeum vulgare* L.) ve buğday (*Triticum aestivum* L.) olmak üzere dört tanesinin model türler olarak kabul edildiği bildirilmiştir [6]. Ancak *Solanaceae* familyasına ait türlerde olduğu gibi agronomik olarak önemli olan birçok tür hala mikrospor embriyogenesise karşı inatçıdır ve bunun nedeni hakkında çok az bilgi bulunmaktadır [7].

Patlıcan, *Solanum melongena* L., *Solanaceae* ailesinin *Solanum* cinsine ait diploid ( $2n=2x=24$ ) bir sebzedir ve ülkemiz dahil pek çok ülkede ekonomik değere sahiptir. Patlıcan mikrospor embriyogenesis induksiyonu için inatçı bir tür olarak görülmele birlikte DH bitkiler elde etmek mümkündür. Ancak yöntemin etkinliği hala sınırlı derecededir ve indüklenebilir genotip sayısı hala yetersizdir [7]. Mikrospor embriyogenesisle ilgili olarak bazı patlıcan genotiplerinde anter kültürü yoluyla olumlu sonuçlar elde edilmiştir ve anter kültüründen bitki rejenerasyonu üzerine ilk rapor 1973 yılında yayınlanmıştır [8]. Daha sonraki çalışmalarda da haploid veya DH bitkilerin elde edildiği farklı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir [9-14]. İlk raporun yayınlanmasından günümüze kadar anter kültürü için Dumas de Vault ve Chambonnet [10] tarafından yayınlanan protokolün modifiye edilerek kullanılmasıyla DH hatlar elde edilmiştir [15-20]. Patlıcanda anter kültürü ile yapılan bazı başarılı çalışmalara rağmen bu yöntemin pratik kullanımını kısıtlayan bir takım dezavantajlar bulunmaktadır [7,19]. Anter kültüründeki bu sınırlamaların, mikrospordan doğrudan izolasyonu ve kültüre alınmasıyla aşılabileceği düşünülmektedir. Ancak mikrospor kültürünün sağladığı avantajlara rağmen patlıcanda mikrospor kültürü ile ilgili çok az çalışma

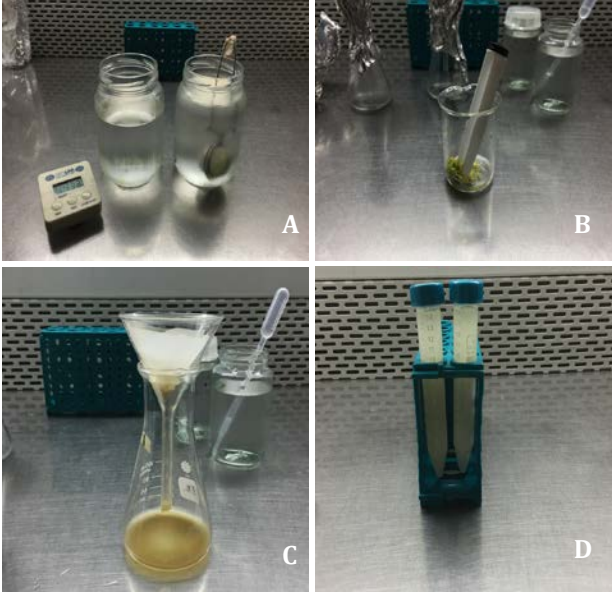
bulunmaktadır [21-25]. Mikrospor kültürü tekniği yurt dışında birçok türde ıslah programlarında başarılı bir şekilde kullanılabilmesine rağmen ülkemizde konu ile ilgili yapılan araştırma sayısının birkaç çalışma dışında son derece sınırlı olduğu tespit edilmiştir [25-30]. Teknikteki başarı türleri ve genotiplere göre farklılık göstermektedir. Patlıcanda mikrospor kültürü üzerine ülkemizde tek çalışma Bal vd. [26] tarafından yapılmış olup araştırmada sadece mikrospordan elde edilen çok çekirdekli yapılar rapor edilmiştir. Bu durum patlıcanda mikrospor kültürünün ülkemizde geliştirilmesi gerekliliğinin açık bir kanıtıdır. Bu çalışmada iki farklı patlıcan çeşidinde mikrospordan izole edilerek kültüre alınmış ve mikrospordan gelişim seyri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırmada bitkisel materyal olarak G07-1 ve G07-2 olarak adlandırılmış iki adet tescil aşamasında F<sub>1</sub> patlıcan çeşidi kullanılmıştır. Sera koşullarında yetiştirilen bitkilerden gelişimin uygun aşamasındaki anterler (çoğunluğu vakuol mikrospor ve genç çift çekirdekli polenleri içeren anterler) belirlenen uzunluklarda dijital kumpas yardımıyla seçilmiştir. Anterler %70 etanol' de 30 saniye, ardından %10'luk ticari çamaşır suyunda 5 dakika bekletilerek sterilize edilmiştir (Şekil 1a). Miyoshi [22] tarafından belirtilen protokol göre, sterilizasyondan sonra, anterler steril bidistile suda ezilmiş (Şekil 1b) ve anter dokularına ait içerik, 40 µm filtre ile süzülümüş (Şekil 1c) ve 850 rpm de soğutmalı santrifüjde 4 dakika santrifüjlendikten sonra üç kez steril bidistile su ile yıkanmıştır. Mikrospor peleti steril distil su içinde süspansiyon haline getirilmiş ve mililitrede 500000 mikrospor olacak şekilde mikrospor yoğunluğu ayarlanmıştır. Çalışmamızda patlıcanda yapılan mikrospor kültürü çalışmalarında olumlu etkisi bildirilen ilk üç günlük sürede 35°C'de karanlıkta bekletilerek sıcaklık uygulaması ve su içinde kültüre alınmasıyla şeker açlığı uygulaması beraber uygulanmıştır [22-24]. Daha sonra mikrospordan ilk olarak Miyoshi [22] tarafından belirtilen ve patlıcanda mikrospor kültüründen kallus elde edilen tek ortam olan; %2 sakkaroz, 0.5 mg/l naphthaleneacetic acid (NAA) ve 0.5 mg/l 6-benzylaminopurine (BAP) içeren NLN ortamında (pH 5.9) kültüre alınmıştır. Kültüre alınan petri kapları 25°C'de bir ay boyunca karanlıkta inkübe edilmiştir.

Kültüre alınan mikrospordan canlılığını test etmek amacıyla fluorescein diacetate (FDA) ile boyama yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla mikrospordan kültüre alındıktan hemen sonra ve 3 günlük sıcaklık uygulamasının ardından FDA ile boyanarak mikrospordan canlılıkları incelenmiştir. Çekirdek bölünmeleri ve embriyogenik gelişim gösteren mikrospordan incelemek amacıyla 4',6-diamidino-2-phenylindole (DAPI) boyama yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla mikrospor süspansiyonundan 200 µl alınarak 8000 rpm de 2 dakika santrifüjlendikten

sonra elde edilen mikrospor peletine 10 µl DAPI solüsyonu eklenmiş ve flouresans mikroskop altında inceleme yapılmıştır [31].

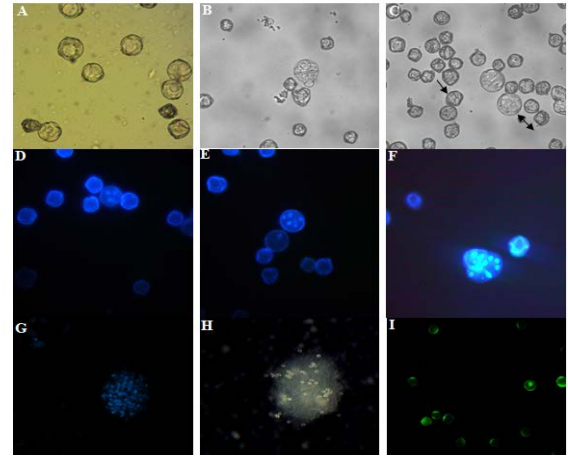


**Şekil 1.** Mikrosporların anterlerden izolasyonu. a. Kabin içerisinde anterlerin sterilizasyonunun yapılması. b. Mikrospor izolasyonu amacıyla anterlerin ezilmesi. c. Anter dokularının uzaklaştırılması amacıyla mikrospor süspansiyonunun süzülmesinde kullanılan 40 µm filtre sistemi. d. Mikrospor peleti elde etmek amacıyla santrifüj tüplerine alınan mikrospor süspansiyonu.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada iki adet patlıcan çeşidinde mikrospor kültürü çalışması yapılmıştır. Mikrospor kültürü çalışmalarında ilk aşama, en uygun dönemdeki mikrosporları içeren anterlerin belirlenmesidir. Bu bağlamda, ilk polen mitozu etrafında dönen mikrosporların/polenlerin embriyogenesise doğru saptırmak için en uygun aşamada olduğu hakkında geniş bir görüş birliği vardır [32, 33]. Diğer bir deyişle, bu aşamaların vakuol mikrospor ve genç çift çekirdekli polen aşamaları olduğuna inanılmaktadır. Bu çalışmada da mikrospor kültürünün yapıldığı aşamada kültüre alınan mikrosporların çoğunluğu vakuol mikrospor veya genç çift çekirdekli polen aşamasındadır (Şekil 2a).

Kültüre alınan mikrosporlarda canlılık önemli bir konu olup; bu çalışmada da kullanılan iki farklı çeşidin mikrospor canlılıkları FDA ile boyanarak tespit edilmiştir (Şekil 2i). Canlı olan mikrosporlar flouresans ışık altında parlak görünmektedir. Bizim çalışmamızda canlılık mikrosporların izolasyonundan hemen sonra ve stres uygulamasının sonunda test edilmiştir. Mikrosporların kültüre alındığı andaki sonuçlara göre G07-1 çeşidinde mikrosporların %35.90, stres uygulaması sonunda ise %16.08 oranında canlı olduğu saptanmıştır. Diğer çeşitte ise kültüre alındığı anda mikrosporların %28.44'nin, stres uygulaması sonunda ise %22.01 oranında canlı olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 2.** Patlıcanda mikrospor kültürü. a. Kultüre alınan mikrosporlar. b. Sporofitik gelişim gösteren mikrosporlarda simetrik bölünme. c. Normal gametofitik gelişim gösteren polen (↗) ve gelişimlerini durduran mikrosporlar (↘). d. Dört çekirdekli mikrosporlar e. Altı çekirdekli mikrosporlar. f-g. Çok çekirdekli yapılar. h. Kallus benzeri yapılar. i. FDA ile boyanmış canlı mikrosporların flouresans mikroskop altındaki görüntüsü.

Mikrospor kültürü yoluyla mikrosporların tüm gelişim süreci ışık ve flouresans mikroskopu altında incelenmiştir. Gelişim sürecinin kullanılan çeşitlerin her ikisinde de aynı olduğu tespit edilmiştir. Stres uygulamalarına maruz kalan mikrospordan birçoğu hemen gelişimini durdurur ve/veya ölürken; herhangi bir morfolojik değişim göstermemiş ve başlangıçta kültüre alındığı halde kalmıştır (Şekil 2c). Bazıları ise olgun poleni meydana getirmek üzere gametofitik gelişimi takip etmişlerdir (Şekil 2c). Diğer bazı mikrosporların ise stres uygulamaları ile etkili bir biçimde bölünmeleri uyarılmıştır. Bu mikrosporlarda stres uygulamasından beş gün sonra bazı mikrosporların sporofitik gelişiminin başlangıç göstergelerinden biri olduğu kabul edilen simetrik olarak bölündükleri gözlenmiştir (Şekil 2b). Stres uygulamasının ardından 25°C de bekletildiği kültürün ilk haftasında dört ve daha fazla hücreli mikrosporlar belirlenmiş (Şekil 2 d-e) ve yaklaşık 10 gün sonra çok hücreli yapılar meydana gelmiştir (Şekil 2f). İlk dört hafta boyunca bu çok hücreli yapılarla birlikte düzensiz kallus benzeri yapılar gözlenmeye başlanmıştır (Şekil 2h). Daha sonraki süreçte herhangi bir embriyo oluşumu gözlemlenmemiştir. Araştırmada bir ay sonunda mikrospordan yalnızca kallus oluşumu meydana gelmiştir. G07-1 çeşidinde ortalama 288 kallus /petri elde edilirken diğer çeşitte 64 kallus/petri meydana gelmiştir.

Patlıcanda yapılan önceki mikrospor kültürü çalışmalarına paralel olarak mikrospordan kallus meydana geldiği tespit edilmiştir [22-24]. Bu durum genel olarak androgenik sistemlerin çoğunluğuyla ilgili bilinenlerle karşılaştırıldığında; normalde mikrosporların embriyo üretmek üzere indüklenmesi beklenirken kallus oluşumu yoluna giderek farklı bir gelişim takip ettiğini göstermektedir. Buna göre, patlıcan dahil, anter kültüründen mikrosporlar

embriyo oluşturur ve kallus çoğunlukla anterlerdeki somatik dokularından kaynaklanır. Mikrospor kültüründe ise somatik dokular uzaklaştırıldığından dolayı, kallusların kökeninin mikrosporlar olduğu sonucuna varabiliriz.

Bu nedenle patlıcanda mikrosporların neden bu kadar farklı davrandığı sorusu ortaya çıkmaktadır. Bu soruya ışık tutmak için, androgenesisde mikrospor indüksiyonunun ilk aşamaları ışık ve flouresans mikroskopunda incelenmiştir. Doğrudan embriyogenese gitmek üzere genetiksel olarak programlanmış olan mikrosporlar; embriyo haline gelmek için farklı seviyelerde birçok değişikliğe maruz kalmaktadırlar. Bu değişiklikler çerçevesinde, mikrosporlar önemli ölçüde büyür, hücre merkezine doğru çekirdek yeniden konumlanır, sitoplazma belirginleşir ve büyük vakuol küçük parçalara ayrılır [32]. Bu düzenlemeler birçok türde indüklenen mikrosporlarda embriyogenik gelişimin geçici ve erken morfolojik işareti olarak kabul edilmektedir [34, 35]. Diğer bir morfolojik gösterge ise androgenesis indüksiyonunda çekirdeğin yeniden konumlanmasının ardından gözlenen simetrik bölünmelerdir [36]. Bu çalışmada da kullanılan çeşitlerde stres uygulamasıyla birlikte simetrik bölünmenin meydana gelmesi ve çok çekirdekli yapıların oluşumuyla her iki çeşitte de bazı mikrosporların sporofitik gelişime doğru yönlendiği gözlemlenmiştir (Şekil 2b-f).

Önceki yıllarda yapılan bazı çalışmalarda stres uygulamasına maruz kalmasıyla bölünmeleri uyarılan mikrosporların ya doğrudan embriyogenese yöneldiği ya da bazı durumlarda genotipe bağlı olarak çok hücreli kallus benzeri yapılar meydana getirdiği ve bunlardan uygun koşullar altında organogenesis yoluyla haploid veya DH bitkiler üretmenin mümkün olduğu bildirilmiştir [23, 24]. Mikrosporlardan doğrudan embriyo elde edilen türlere örnek olarak mikrospor embriyogenese için model sistem olarak tanımlanan kolza, arpa, tütün veya buğday gibi türler gösterilmektedir [6]. Mikrosporlardan meydana gelen kalluslardan elde edilen DH bitkilere örnek birçok türde bildirilmiştir [4]. Mevcut çalışmada da bir ayın sonunda mikrosporlardan yalnızca kallus oluşumu meydana gelmiştir ve doğrudan embriyogenese meydana gelmemiştir. Ayrıca yapılan mikroskopik incelemelerde mikrosporların doğrudan kallusa dönüşmediği belirlenmiştir. Mikrospor kültür sürecinin detaylı çalışılması neticesinde, indüksiyondan hemen sonra patlıcan mikrosporlarının embriyogenesinin başlangıç aşamasına girdiği mevcut çalışmada gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuç önceki çalışmalarla uyum içersindedir.

#### 4. Sonuç

Mikrospor kültürü ile yapılan çalışmalar genelde son yıllarda artmış olmakla birlikte, yeni protokollerin

geliştirilmesine ve standart hale getirilmesine halen ihtiyaç duyulmaktadır. Burada vurgulanması gereken önemli noktalardan biri de ülkemizde özellikle ekonomik olarak önemli bitkilerde sınırlı sayıda araştırma bulunan mikrospor kültürüne yönelik araştırmalardır. Geliştirilecek olan metotların ıslah programlarında farklı genotipler için rutin olarak uygulanacak etkin ve güvenilir bir teknoloji haline getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla bundan sonraki çalışmalarda bu araştırmada belirtilen protokolün geliştirilmesi veya yeni protokollerin oluşturulması için mikrospor kültürü için farklı ortam kombinasyonlarının ve farklı stres uygulamalarının denenmesi faydalı olacaktır. Böylece verimli ve gelecek vaat eden bir teknik olan mikrospor kültürü üzerine yapılan çalışmalarda önemli bir boşluk doldurulmuş olacak ve ülkemizde eksik bulunan mikrospor kültürü çalışmalarının sayısının artmasına ve bu yöntemin geliştirilmesine bu araştırmanın katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

#### Kaynakça

- [1] Forster, B.P., Herberle-Bors, E., Kasha, K.J., Touraev, A. 2007. The resurgence of haploids in higher plants. *Trends in Plant Science*, 12(8), 368-375.
- [2] Dunwell, J.M. 2010. Haploids in flowering plants: origins and exploitation. *Plant Biotechnol J.*, 8: 377-424.
- [3] Germanà, M. 2011. Gametic embryogenesis and haploid technology as valuable support to plant breeding. *Plant Cell Rep.*, 30: 839-857.
- [4] Segui-Simarro, J.M. 2010. Androgenesis revisited. *The Botanical Review.*, 76: 377-404.
- [5] Maluszynski, M., Kasha, K.J., Szarejko, I. 2003. Published doubled haploid protocols in plant species. pp 309-335. Maluszynski, M., Kasha, K.J., Forster, B.P., Szarejko, I. eds. 2003. *Doubled haploid production in crop plants A manual*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 428.
- [6] Maraschin, S.F., De-Priester, W., Spaink, H.P., Wang, M. 2005. Androgenic switch: an example of plant embryogenesis from the male gametophyte perspective. *J Exp Bot.*, 56: 1711-1726.
- [7] Segui-Simarro, J.M., Corral-Martinez, P., Parra-Vega, V., Gonzalez-Garcia, B. 2011. Androgenesis in recalcitrant *Solanaceous* crops. *Plant Cell Rep.*, 30: 765-778.
- [8] Raina, S.K., Iyer, R.D. 1973. Differentiation of diploid plants from pollen callus in anther cultures of *Solanum melongena* L. *Z Pflanzenzucht*, 70: 275-280.
- [9] Isouard, G., Raquin, C., Demarly, Y. 1979. Obtention de plantes haploides et diploides par



- culture in vitro d'anthers d'aubergine (*Solanum melongena* L.). C R Acad Sci, Paris, 288: 987-989.
- [10] Dumas de Vaulx, R., Chambonnet, D. 1982. Culture in vitro d'anthers d'aubergine (*Solanum melongena* L.): stimulation de la production de plantes au moyen de traitements à 35°C associés à de faibles teneurs en substances de croissance. *Agronomie*, 2: 983-988.
- [11] Misra, N.R., Varghese, T.M., Maherchandani, N., Jain, R.K. 1983. Studies on induction and differentiation of androgenic callus of *Solanum melongena* L. pp 465-468. Sen, S.K., Giles, K.L. eds. 1983. *Plant cell culture in crop improvement*. Plenum Press, New York, 502p.
- [12] Borgel, A., Arnaud, M. 1986. Progress in eggplant breeding, use of haplomethod. *Capsicum Newsl*, 5:65-66.
- [13] Rotino, G.L., Falavigna, A., Restaino, F. 1987. Production of anther-derived plantlets of eggplant. *Capsicum Newsl*, 6:89-90.
- [14] Tuberosa, R., Sanghinetti, M.C., Conti, S. 1987. Anther culture of eggplant *Solanum melongena* L. lines and hybrids. *Genética Agraria*, 41:267-274.
- [15] Rotino, G.L. 1996. Haploidy in eggplant. pp 115-141. Jain, S.M., Sopory, S.K., Veilleux, R.E. eds. 1996. *In vitro haploid production in higher plants*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 412p.
- [16] Rotino, G.L., Sihachakr, D., Rizza, F., Vale, G., Tacconi, M.G., Alberti, P., Mennella, G., Sabatini, E., Toppino, L., D'Alessandro, A., Acciarri, N. 2005. Current status in production and utilization of dihaploids from somatic hybrids between eggplant (*Solanum melongena* L.) and its wild relatives. *Acta Physiol Plant*, 27: 723-733.
- [17] Alpsoy, H.C., Seniz, V. 2007. Researches on the in vitro androgenesis and obtaining haploid plants in some eggplant genotypes. *Acta Hort*, 729:137-141.
- [18] Salas, P., Prohens, J., Seguí-Simarro, J.M. 2011. Evaluation of androgenic competence through anther culture in common eggplant and related species. *Euphytica*, 182:261-274.
- [19] Salas, P., Rivas-Sendra, A., Prohens, J., Seguí-Simarro, J.M. 2012. Influence of the stage for anther excision and heterostyly in embryogenesis induction from eggplant anther cultures. *Euphytica*, 184:235-250.
- [20] Başay, S., Ellialtıoğlu, Ş. 2012. Effect of genotypical factors on the effectiveness of anther culture in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Turk J Biol*, 37: 499-505.
- [21] Gu, S.R. 1979. Plantlets from isolated pollen cultures of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Acta Bot Sin*, 21: 30-36.
- [22] Miyoshi, K. 1996. Callus induction and plantlet formation through culture of isolated microspores of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Plant Cell Rep*, 15:391-395.
- [23] Corral-Martinez, P., Seguí-Simarro, J.M. 2012. Efficient production of callus-derived doubled haploids through isolated microspore culture in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Euphytica*, 187:47-61.
- [24] Corral-Martinez, P., Seguí-Simarro, J.M. 2014. Refining the method for eggplant microspore culture: effect of abscisic acid, epibrassinolide, polyethylene glycol, naphthaleneacetic acid, 6-benzylaminopurine and arabinogalactan proteins. *Euphytica*, 195: 369-382.
- [25] Bal, U., Abak, K. 2005. Induction of Symmetrical Nucleus Division and Multicellular Structures from the Isolated Microspores of *Lycopersicon Esculentum* Mill. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 19(1): 35-42.
- [26] Bal, U., Ellialtıođlu, S., Abak, K. 2009. Induction of symmetrical nucleus division and multi-nucleate structures in microspores of eggplant (*Solanum melongena* L.) cultured in vitro. *Sci Agric*. 66: 535-539.
- [27] Tuncer, B., Yanmaz, R. 2011a. Effects of colchicine and high temperature treatments on isolated microspore culture in various cabbage (*Brassica oleraceae*) types. *International Journal of Agriculture and Biology*, 13(5): 819-822.
- [28] Tuncer, B., Yanmaz, R. 2011b. Induction of microspore embryogenesis in ornamental kale by gamma irradiation and high temperature stress. *Asian Journal of Biotechnology*, 3: 415-421.
- [29] Tuncer, B., Cig, A., Yanmaz, R., Yasar, F. 2016. Effect of heat shock treatment on microspore embryogenesis in *Brassica oleracea* species. *Journal of Agricultural Sciences*, 22(4): 548-554.
- [30] Tuncer, B. 2017. Callus formation from isolated microspore culture in radish (*Raphanus sativus* L.). *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 27(1): 277-282.
- [31] Custers, J.B.M. 2003. Microspore culture in rapeseed (*Brassica napus* L.). pp 185-194. Maluszynski, M., Kasha, K.J., Forster, B.P., Szarejko, I. Eds. 2003, *Doubled haploid production in crop plants: a manual*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 428.
- [32] Touraev, A., Pfosser, M., Heberle-Bors, E. 2001. The microspore: a haploid multipurpose cell. *Adv Bot Res*, 35:53-109.

- [33] Segui-Simarro, J.M., Nuez, F. 2008. How microspores transform into haploid embryos: changes associated with embryogenesis induction and microspore-derived embryogenesis. *Physiologia Plantarum*, 134: 1-12.
- [34] Indrianto, A., Barinova, I., Touraev, A., Heberle-Bors, E. 2001. Tracking individual wheat microspores in vitro: identification of embryogenic microspores and body axis formation in the embryo. *Planta*, 212: 163-174.
- [35] Maraschin, S.F., Vennik, M., Lamers, G.E.M., Spaink, H.P., Wang, M. 2005. Time-lapse tracking of barley androgenesis reveals position-determined cell death within pro-embryos. *Planta*, 220: 531-540.
- [36] Zaki, M.A.M., Dickinson, H.G. 1991. Microspore-derived embryos in *Brassica*: the significance of division symmetry in pollen mitosis I to embryogenic development. *Sexual Plant Reproduction*, 4:48-55.

## Synthesis of Some New Isatin Derivatives and Identification of Their Structures

İnci Selin DOĞAN<sup>\*1</sup>, Gökçe Gül BÖLEK<sup>2</sup>, Bahittin KAHVECİ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Technical University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, 61100, Trabzon, Turkey

<sup>1</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4949-1747>)

<sup>2</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0914-9824>)

<sup>2</sup> Karadeniz Technical University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, 61100, Trabzon, Turkey

<sup>3</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7394-0552>)

(Alınış / Received: 08.06.2018, Kabul / Accepted: 03.03.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 11.03.2019)

### Keywords

İndol,  
İsatin,  
Schiff base,  
Heterocyclic chemistry,  
Synthesis

**Abstract:** Indole, which has an important role in heterocyclic ring systems, exhibits significant biological effects. Isatin (1*H*-indole-2,3-dione) has been used as a reagent in a large number of synthesis due to its biological properties. In addition, it is a heterocyclic ring system used for obtaining and other reactions of indole and quinoline derivatives. In this study, two new Schiff base compounds were synthesized by the reaction of 2-aminoanthracene with an isatin/5-nitroisatin. The structure of the synthesized compounds, were elucidated by spectroscopic methods using IR, <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR spectra and Mass analysis.

## Bazı Yeni İsatin Türevlerinin Sentezi ve Yapılarının Aydınlatılması

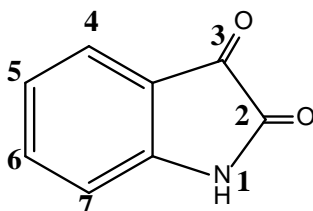
### Anahtar Kelimeler

İndol,  
İsatin,  
Schiff bazı,  
Heterosiklik kimya,  
Sentez

**Özet:** Heterosiklik halka sistemlerinde önemli bir rolü olan indol, önemli biyolojik etkiler göstermektedir. İsatin (1*H*-indol-2,3-dion), biyolojik özellikleri nedeniyle çok sayıda sentezde bir reaktif olarak kullanılmıştır. Ayrıca, isatin, indol ve kinolin türevlerinin eldesinde ve reaksiyonlarında kullanılan, bir heterosiklik halka sistemidir. Bu çalışmada, iki yeni Schiff bazı bileşikler, 2-aminoantrasen ile isatin/5-nitro-isatinin reaksiyonuyla sentezlendi. Sentezlenen bileşiklerin yapısı, IR, <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR spektrumları ve Kütle analizi kullanılarak spektroskopik yöntemlerle aydınlatıldı.

### 1. Introduction

Isatin (1*H*-indole-2,3-dione) is an important starting material in synthetic studies.



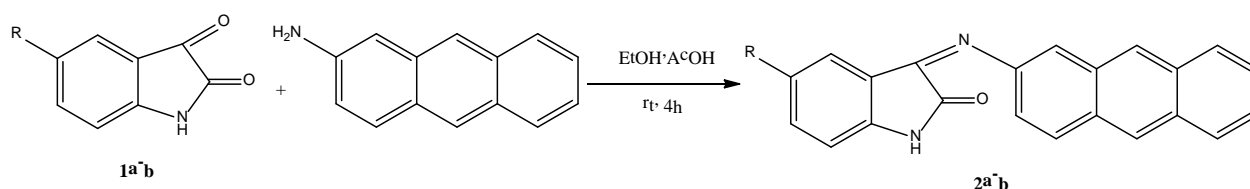
Isatin

A large number of heterocyclic compounds can be synthesized using isatin. These heterocyclic compounds are also suitable for use in drug synthesis and design [1-4]. Isatin has recently been used as a reagent due to its various biological (anxiogenic,

sedative, anticonvulsant, endogenous MAO inhibitor and potent antagonist on atrial natriuretic peptide receptor) and structural functional properties [1, 5-8]. One of the most frequently used reactions in this context is the Schiff base reaction [9, 10]. Schiff bases are used as a substrate in different cyclization or replacement reactions were synthesized using different aldehyde and amine derivatives (11,12). Schiff bases possess antimicrobial (12-16) and antifungal (17,18) activities. Some synthesized heterocyclic amine compounds by starting isatin used in hair dyes [19-37], plastic materials [38], synthetic dyes and chemicals used for natural fibers [39,40].

Due to all these properties, in this study, two new derivatives of the isatin have been obtained by reaction of isatin/5-nitroisatin with 2-aminoanthracene for the potential dye property. The reaction equation for work is given in Scheme 1.

\*Corresponding author: selinci@gmail.com



**Scheme 1.** Synthesis of new isatin derivatives (Compounds **2a,b**) **R**: a:H, b:NO<sub>2</sub>

## 2. Material and Method

The general synthesis of Compounds **2a,b** is summarized in Scheme 1. All reagents and solvents were obtained from commercial suppliers. All reactions were monitored by thin-layer chromatography on silica gel pre-coated F254 Merck plates and the plates were examined under 254 nm UV light. The mobile phase for the TLC was chloroform:methanol (90:10). Melting points (mp) were recorded by Electrothermal Digital Melting Point Apparatus without correction. <sup>1</sup>H- and <sup>13</sup>C-NMR spectrum was recorded on Varian Mercury 400, 400MHz Digital FT-NMR instrument with tetramethylsilane as internal standard. Chemical shifts ( $\delta$ ) were expressed in parts per million (ppm). Significant <sup>1</sup>H-NMR data are reported in the following order: multiplicity (s, singlet; d, doublet; dd, doublet of doublet; t, triplet; m, multiplet) and number of protons. IR spectra were recorded on Perkin Elmer Spectrum FT-IR spectrophotometer using attenuated total reflectance (ATR) FT-IR method. Mass spectrometry was conducted using Micromass ZQ LC-MS spectrometer (ESI+ mode).

### Preparation of the Compounds **2a, b** (**12**)

Isatin/5-nitro-isatin (**1a,b**) derivative (0.01 mol), 2-aminoanthracene compound (0.01 mol) and 3-4 dropwise acetic acid were stirred in 40 mL ethanol for 4 hours at room temperature. The reaction progress was monitored by TLC. The crude product was filtered and crystallized from the mixture of ethanol/water (3:1). The compounds (**2a,b**) obtained were identified as isatin derivative Schiff base; 3-(Anthracen-2-ylimino)-indolin-/5-nitroindolin-2-one (Scheme 1).

The structure of the synthesized compounds, were elucidated by spectroscopic methods as IR, <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR spectra and Mass analysis.

## 3. Results

3-(Anthracen-2-ylimino)-indolin-/5-nitroindolin-2-one (Compounds **2a, b**) general procedure was followed using isatin and 2-aminoanthracene to give **2a** as a yellow solid (yield 92%; mp 254-5°C). IR (ATR):  $\tilde{\nu}$  = 3149, 3046 (N-H and aromatic C-H), 1715 (C=O, ketone), 1607 (C=N) cm<sup>-1</sup>. <sup>1</sup>H-NMR (600MHz, DMSO-d<sub>6</sub>)  $\delta$  6.45 (1H, s, isatin Ar C<sub>5</sub>-H), 6.95-7.58 (4H,

m, isatin Ar C<sub>6</sub>-H and anthracene Ar C<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>,C<sub>7</sub>-H), 7.98-8.06 (4H,m, isatin Ar C<sub>4</sub>, C<sub>7</sub>-H and anthracene Ar C<sub>5</sub>, C<sub>8</sub>-H), 8.18-8.58 (4H,m, anthracene Ar C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>9</sub>, C<sub>10</sub>-H), 11.02 (1H,s,N-H) ppm. <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>)  $\delta$  111.6, 112.2, 113.9, 116.2, 118.6, 119.9, 120.8, 122.1, 126.2, 126.4, 126.5, 127.1, 128.2, 128.6, 130.6, 131.6, 132.3, 141.9, 146.7 (Ar C), 153.6 (C=N), 164.3 (C=O). LC-MS (ESI+) (C<sub>22</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O, Ma=322) m/z: 322.70(M+, base peak, 100%).

General procedure was followed using 5-nitro-isatin and 2-aminoanthracene to give **2b** as a yellow solid (yield 88%; mp 270-1°C). IR (ATR):  $\tilde{\nu}$  = 3117 (N-H), 1741 (C=O, ketone), 1619 (C=N), 1529, 1336 (NO<sub>2</sub>) cm<sup>-1</sup>. <sup>1</sup>H-NMR (600MHz, DMSO-d<sub>6</sub>)  $\delta$  7.07-7.48 (3H, m, anthracene Ar C<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>, C<sub>7</sub>-H), 7.50 (2H, m, anthracene Ar C<sub>5</sub>, C<sub>8</sub>-H), 7.52-7.70 (4H,m, anthracene Ar C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>9</sub>, C<sub>10</sub>-H), 7.72(1H,m, isatin Ar C<sub>7</sub>-H), 8.54 (1H,m, isatin Ar C<sub>6</sub>-H), 8.66 (1H,m, isatin Ar C<sub>4</sub>-H), 11.73(1H,s,N-H) ppm. <sup>13</sup>C-NMR (150 MHz, DMSO-d<sub>6</sub>)  $\delta$  111.3, 112.9, 114.9, 116.3, 120.2, 122.8, 125.8, 125.9, 126.1, 126.9, 128.1, 128.5, 130.5, 131.9, 132.2, 134.9, 138.7, 146.9, 147.5 (Ar C), 155.4 (C=N), 164.0 (C=O). LC-MS (ESI+) (C<sub>22</sub>H<sub>13</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub>, Ma=367) m/z: 367.90 (M+, base peak, 100%).

Spectral (IR, <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR) data of the synthesized compounds (**2a,b**) were consistent with the literature [41-43]. In the IR spectrum, the vibration bands of the C=O group found at 1715 and 1741; the N-H group was found at 3149 and 3117 cm<sup>-1</sup>. In the <sup>1</sup>H-NMR spectral data of Compounds **2a,b** showed aromatic protons at 6.45-8.58 and 7.07-8.66 ppm and N-H proton at 11.02 and 11.73 ppm, respectively. And also, peaks has been found to comply with the literature data as <sup>13</sup>C peaks in aromatic field were observed 111.60-164.30 ppm. The findings obtained from the mass spectra of compounds which we have synthesized confirm the structures of the compounds.

## 4. Discussion and Conclusion

In this study, synthesis of 2 new Schiff base isatin compounds; 3-(anthracen-2-ylimino)-indol-/5-nitroindol-2-one derivatives (Compounds **2a,b**) were realized. Here, we synthesized some Schiff base compounds by the reaction of isatin and anthracene derivatives. Schiff bases are synthesized by various methods; in this study we have completed the reaction with high yield and purity by an effectively

used method. It is expected that the conjugation properties of the products obtained from the reaction will increase. This situation is observed in the dark color of the products obtained. Because of the increased electronic conjugation of the resulting derivative compounds, the potential dye properties of these compounds are possible. Different isatin derivatives will be synthesized and their antimicrobial activities are planned to be examined.

### Acknowledgment

This project was supported by TÜBİTAK (Tübitak 2209A- 1919B011502586).

### References

- [1] Pandeya, S.N., Smitha, S., Jyoti, M., Sridhar, S.K. 2005. Biological Activities of Isatin and Its Derivatives. *Acta Pharm.*, 55(1),27-46.
- [2] Vine, K.L., Matesic, L., Locke, J.M., Ranson, M., Skropeta, D. 2009. Cytotoxic and Anticancer Activities of Isatin and Its Derivatives: A Comprehensive Review from 2000-2008. *Anticancer Agents in Med.Chem.*, 9(4), 397-414. DOI : 10.2174/1871520610909040397
- [3] Phogat, P., Singh, P. 2015. A Mini Review on Central Nervous System Potential of Isatin Derivatives. *Cent Nerv Syst Agents Med Chem.*,15(1),28-31.
- [4] Rawat P, Verma SM. 2016. Design and Synthesis of Chroman Derivatives with Dual Anti-Breast Cancer and Antiepileptic Activities. *Drug Design, Development and Therapy*, 10,2779-2788.
- [5] Kahveci. B. 2005. Synthesis of 4-Amino-4,5-Dihydro-1H-1,2,4-Triazole-5-Ones and Their Isatin-3-Imine Derivatives. *Molecules*, 10, 376-382.
- [6] Sridhar, S.K., Saravanan, M., Ramesh, A. 2001. Synthesis and Antibacterial Screening of Hydrazones, Schiff and Mannich Bases of Isatin Derivatives. *Eur J Med Chem.*, 36(7-8),615-625.
- [7] Shuttleworth, S.J., Nasturica, D., Gervais, C., Siddiqui, M.A., Rando, R.F., Lee, N. 2000. Parallel Synthesis of Isatin-Based Serine Protease Inhibitors. *Bioorg Med Chem Lett*, 20,10(22),2501-4.
- [8] Hamaue, N., Minami, M., Hirafuji, M., Terado, M., Machida, M., Yamazaki, N., Yoshioka, M., Ogata, A., Tashiro, K. 1999. Isatin, an Endogenous MAO Inhibitor, as a New Biological Modulator. *CNS Drug Reviews*, 5(4), 331-346.
- [9] Azizian, J., Mohammadi, M.K., Firuzi, O., Razzaghiasl, N., Miri, R. 2012. Synthesis, Biological Activity and Docking Study of Some New Isatin Schiff Base Derivatives. *Med. Chem Res.*, 21,3730-3740.
- [10] El-Ossaily, Y. A., Zaki, R. M., Metwally, S. A. 2014. Investigation and Synthesis of Some Novel Spiro Heterocycles Related to Indoline Moiety. *J. Sci. Res.*, 6(2), 293-307.
- [11] Chinnasamy, R.P., Sundararajan, R., Govindaraj, S. 2010. Synthesis, Characterization, and Analgesic Activity of Novel Schiff Base of Isatin Derivatives. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research.*,1(3),342-347. doi:10.4103/0110-5558.72428.
- [12] Sharma, A., Rajyaguru, C., Upadhyay, J.M., Shah, M.K. 2013. Synthesis and Biological Activity of Some New Schiff Bases. *Int. J. Chem. Sci.*: 11(2), 2013, 981-988.
- [13] More, P.G., Bhalvankar, R.B., Pattar, S.C. 2001. Synthesis and Biological Activities of Schiff Bases of Aminothiazoles. *J. Indian Chem. Soc.*, 78, 474-475.
- [14] El-Masry, A.H., Fahmy, H.H., Abdelwahed, S.H.A. 2000. Synthesis and Antimicrobial Activity of Some New Benzimidazole Derivatives. *Molecules*, 5, 1429-1438.
- [15] Baseer, M.A., Jadhav, V.D., Phule, R.M., Archana, Y.V., Vibhute, Y.B. 2000. Synthesis and Antimicrobial Activity of Some New Schiff Base. *Orient. J. Chem.*, 16, 553-556.
- [16] Pandeya, S.N., Sriram, D., Nath, G., Clercq, De E. 1999. Synthesis and Antimicrobial Activity of Schiff and Mannich Bases of Isatin and its Derivatives with Pyrimidine. *IL Farmaco*, 54, 624-628.
- [17] Singh, W.M., Dash, B.C. 1988. Synthesis of Some New Schiff Bases containing Thiazole and Oxazole Nuclei and their Fungicidal Activity. *Pesticides*, 22, 33-37.
- [18] Hodnett, E.M., Dunn, W. J. Structure-Antitumor Activity Correlation of Some Schiff Bases. 1970. *J. Med. Chem.*, 13, 768-770.
- [19] Hoeffkes, H.; Buettner, R.; Moeller, H. *Ger. Offen. DE 4,211,450,1992 (CA 119: 278349c)*
- [20] Lang G., Cotteret, J. *Eur.Pat.Appl. EP 497, 697 1192. (CA 117;P178123q)*
- [21] Lang G., Cotteret, J. *Eur.Pat.Appl. EP 502,783 1992. (CA 117;P257972u)*
- [22] Lang G., Cotteret, J. *US 5190564 1993. (CA 117;P178123q)*
- [23] Lang G., Cotteret, J. *US 5261926 1993. (IBM intellectual property network)*
- [24] Lang G., Cotteret, J. *US 5279616 1994. (CA 117: P257972u)*
- [25] Lang G., Cotteret, J. *US 5340366 1994. (CA 117:P257972u)*

- [26] Lang G., Cotteret, J. Eur.Pat.Appl. EP 502, 784 1995. (CA 118:P11497y)
- [27] Moeller,H.; Hoeffkes, H. WO 9424988 1994. (CA 122:P38518a)
- [28] Moeller,H.; Hoeffkes, H. WO 9424989 1994 (CA 122: P16832w)
- [29] Moeller,H.; Hoeffkes, H. WO 9524886 1995 (IBM intellectual property network)
- [30] Moeller,H.; Hoeffkes, H. EP 695162 1996 (CA 122:P38518a)
- [31] Moeller,H.; Hoeffkes, H. EP 695163 1996. (CA 122:P16832w)
- [32] Moeller,H.; Hoeffkes, H. US 5611817 1997. (CA 122:P16832w)
- [33] Moeller,H.; Hoeffkes, H. US 5616150 1997 (CA 122:P38518a)
- [34] Moeller,H.; Hoeffkes, H. US 5743919 1998. (CA 123:P265783x)
- [35] Moeller,H.; Hoeffkes, H. WO 9847472 1998. (CA 129: P347133y)
- [36] Rosenbaum, G; Cotteret, J. US 4750908 1998. (CA 107:P120859m)
- [37] Anderson, JS; Schultz, TM. US 4921503 1990. (CA 113:P217781s)
- [38] Mueller, W. Swiss 580,673 1976. (CA 86:P6388e)
- [39] Merlo,F; Bornengo, G Eur.Pat.Appl. 3,565 1979. (CA 92: P7839p)
- [40] Upadhyay, RK.; Agarwal, N.; Mishra,G. Synthesis of Aryl-2-(Alpha-Hydroxy)Phenylketo-4-Thiazolidinones as Dyes. 1995. J. Indian Chem Soc., 72, 849.
- [41] Layer, R.W. The Chemistry of Imines. 1963. Chem. Rev.,63,489-510.
- [42] Silverstein, R.M. Spectrometric Identification of Organic Compounds, John Wiley&Sons, New York, 1998.
- [43] Pretsch, E., Clerk, T., Seibl, J., Simon, W. Tables of Spectral Data For Structure Determination of Organic Compounds, Springer-Verlag, Berlin, 1983.

## Bazı İlaç Gruplarının Su Ortamına Olan Etkilerinin Akut Toksikite Testleri ile Değerlendirilmesi

Süheyla TONGUR<sup>\*1</sup>, Sevil YILDIZ<sup>2</sup>, Rifat YILDIRIM<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-8647-6338)

<sup>2</sup>(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-2873-9328)

<sup>3</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz MYO, Mülkiyet Koruma ve Güvenliği Bölümü, Isparta

<sup>3</sup>(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4456-9448)

(Alınış / Received: 20.06.2018, Kabul / Accepted: 04.03.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 11.03.2019)

### Anahtar Kelimeler

Analjezik,  
Beta-blocker,  
*Daphnia magna*,  
*Lepidium sativum*,  
Toksikite,  
EC<sub>50</sub>

**Özet:** Bu çalışmanın amacı, reçeteli veya reçetesiz olarak satılabilen ve tüketimleri her geçen gün artan analjezik-antiinflamatuvar ve beta-blocker grubu ilaçların laboratuvar ortamında hazırlanan sentetik atıksularının akut toksisitelerinin incelenmesidir. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanarak analiz edilecek olan bu ilaçların *Lepidium sativum* ve *Daphnia magna* toksisite testleri kullanılarak akut toksisitelerinin değerlendirilmesidir. Ayrıca kullanılan farklı biyolojik test metodlarının duyarlılık yönünden karşılaştırılması ve bu atıksuların bitki ve akuatik yaşam için toksisitesinin belirlenmesidir. Çalışmada, ilaç piyasasında kolaylıkla bulunabilen ve bununla birlikte kullanımları gitgide artan üç farklı ilaç türünün *Daphnia magna* ve *Lepidium sativum* toksisite testleri kullanılarak toksisitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Test sonuçları incelendiğinde her iki toksisite testi için farklı hassasiyetler gözlenmiştir. Kullanılan yöntemler içerisinde en hassas değerlerin elde edildiği test yönteminin *Daphnia magna* toksisite test metodu olduğu görülmüştür. *Daphnia magna* deneyinde ilaç etken maddelerinin 24 saat ve 48 saat sonraki değerleri hesaplanmıştır. *Daphnia magna* deneyinde sonuçların okunduğu süreler açısından karşılaştırıldığında, 24 saat sonunda okunan değerlere göre 48 saat sonunda alınan değerlerde artış olduğu tespit edilmiştir. Analjeziklerden "Flurbiprofen" etken maddesi için 24 saat ve 48 saat sonraki değerler hesaplandığında Toksik Birim değerinin "çok toksik" olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda farklı toksisite testlerinin hassasiyetlerinin de farklı olduğu görülmüştür. Bu çalışma toksisite testlerinin ilaç atıksuları üzerinde kullanılabilirliği açısından ve sonraki çalışmalara ışık tutması açısından önemlidir.

## Assessment of Acute Toxicity of Some Pharmaceuticals Effects in Aquatic Environment by Toxicity Test Methods

### Keywords

Analgesics,  
Beta-blocker,  
*Daphnia magna*,  
*Lepidium sativum*,  
Toxicity,  
EC<sub>50</sub>

**Abstract:** Purpose of this study, determination of toxicity effects of synthetic drug solutions (Flurbiprofen, Naproxen and Propranolol) by using toxicity test methods. In this study, *Lepidium sativum* and *Daphnia magna* toxicity tests were used as a method to determine potential harms to be caused to microbial ecology in receiver environment by synthetic pharmaceutical solutions were preparing certain concentrations as working samples. When *Lepidium sativum* and *Daphnia magna* toxicity tests results were evaluated, different sensitivities were determined for pharmaceutical wastewater samples of different properties. When *Lepidium sativum* and *Daphnia magna* toxicity test results were compared, *Daphnia magna* toxicity test method result was the most sensitive values. *Daphnia magna* toxicity test method results were compared in terms of times for 24 hours and 48 hours. It was observed that toxic values of pharmaceuticals were increased at 48 hours when compared to the values read at 24 hours. Flurbiprofen showed more toxic than other ingredients (Naproxen and Propranolol) both *Lepidium sativum* and *Daphnia magna*. In this study, for plants and aquatic life toxicity of some pharmaceuticals were determined and were compared in terms of sensitivity by using different toxicity test methods. So these studies, in terms of feasibility toxicity test methods are very important on pharmaceutical wastewaters. Also, looking from the viewpoint of next studies of toxicity will be lightning.

## 1. Giriş

Dünya nüfusunun gitgide artması ile birlikte nüfusun yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Ayrıca, hızla gelişen teknoloji yaşamı büyük bir oranda etkisi altına alarak tüketimin artmasına neden olmaktadır. Endüstrileşme ile birlikte yerleşim yerleri hızlı bir şekilde gelişmektedir. Dolayısıyla endüstrilerden, kurumlardan ve konutlardan yoğun bir şekilde kaynaklanan atıkların ortaya çıkması kaçınılmaz bir durum değildir. Yeni teknolojik gelişmelerin yaşam için olumlu tarafları olsa da, ekosistem için olumsuz sayabileceğimiz problemleri meydana getirmektedir. Oluşan atıkların miktarı ve özelliklerinin hem değişmesi hem de artması nedeniyle tehlike oluşturmaktadır. Sonuç olarak, bu durum küresel çapta çevresel kirliliği arttırmaktadır [1].

Fiziki özelliklerine göre atıklar; katı ve sıvı atıklar olmak üzere sınıflandırılabilir. Üretim birimlerinden oluşan atık sular bununla birlikte hastaneler, bakımevleri, çeşitli işyerleri ve konutların kanalizasyon suları sıvı atıklar; bunun dışındaki atıklar da katı atıklar olarak değerlendirilebilir. Atıkların bir kısmı doğal ortamda hızlı bir şekilde biyodegradasyona uğrayarak çevreye zarar vermeyen bileşenlere dönüşebilirken, ağır metaller ve bazı organik yapıdaki bileşikler ise, uzun yıllar bozunuma uğramadan yapılarını doğada koruyabilmektedirler. Bu durumla birlikte, insan ve ekosistem üzerinde zarar verici ve olumsuz etkilerini sürdürmelerine yol açmaktadır [2].

İlaç ve kişisel bakım ürünleri sektörü, son 40 yılda hızla gelişme gösteren bir endüstri haline gelmiştir. Fakat ilaçların üretildiği veya tüketildiği alanlarda oluşan ilaç-kaynaklı atıklar, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, atık yönetimi konusunda gerektiği önemi kazanamamıştır. İlaçlar, kolay içilebilmeleri ve uzun süre depolanabilmeleri amacı ile mümkün olduğu kadar dayanıklılığı yüksek ve sıvı fazda hareketlilikleri yüksek olacak şekilde üretilmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı, ilaç içerisinde bulunan aktif maddeler ve biyotransformasyon ürünleri, ekosistemde birikerek çevreye olumsuz diyebileceğimiz çeşitli etkilere neden olmaktadır. Antibiyotikler, antibakteriyel ilaçlar, ağrı kesiciler, betablockerler, kolesterol ilaçları, sitostatik ilaçlar, sentetik steroidler vb. çeşitli araştırmalarla son yıllarda ekosistemde tespit edilen ilaçlardır [3].

İlaçların, ilaç üretim aşamasında kullanılan veya sentezlerde yan ürün olarak elde edilen birtakım kimyasalların atık olarak çevreye geçtiklerinde ortaya çıkabilecek olası zararlı etkilerinin değerlendirilmesi, bu maddelerin yerüstü ve yeraltı su kaynaklarına geçen miktarlarının izlenmesi yakın gelecekte ciddi problemlerin önlenmesi açısından önem verilmesi gereken bir konu haline almıştır [4]. Çünkü kullanılmayan veya raf ömrü dolmuş ilaçlar

çöp kutusuna ya da tuvaletlere dökülerek; topikal kullanılan ilaçlar banyo yapılırken yıkama suyuna karışarak; ağızdan alınan ilaçların bir kısmı ise, bağırsaklardan emilmeden; emilen ilaçların kendileri veya metabolitleri de idrar ya da feçes ile kanalizasyon suyuna karışarak ekosistem açısından tehlikeli bir çevresel kontaminasyon kaynağı haline alır.

Toksik madde içeren atıksular, verildikleri alıcı ortama yansıtıkları zararlı etkilerin yanı sıra bu tip atıksuları arıtan biyolojik arıtma tesislerindeki mikroorganizmaları da olumsuz etkileyerek solunum hızlarının değişmesine ve substrat kullanım hızının azalmasına ve dolayısıyla arıtma veriminin düşmesine neden olmaktadır [5].

Su kirlenmesi kontrolünde toksisite testleri; su hayatı çevre koşullarının uygunluğunu, atık toksisitesi üzerinde çevresel faktörlerin etkisini, test türü üzerine atığın toksisitesini, atıksu arıtım metodlarının etkisini, su kirliliği kontrolü çalışmalarında gerekli arıtım derecesini ve izin verilebilir atıksu deşarj oranlarının belirlenmesinde ekotoksikite testleri kullanılır. Ülkemizde ise, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre sadece endüstri kuruluşları için izin verilebilir atık madde deşarj miktarını ve su kalite standartlarına uygunluğunun belirlenmesi amacıyla toksisite testleri uygulanmaktadır [6]. Toksikite testlerinin, çevreye toksik deşarjların verilmesinin kontrol edilmesinde ve denetlenmesinde kimyasal analizler ve biyolojik analizler ile birlikte kullanılmasının gerektiği EPA tarafından önerilmektedir [7].

Atıksu kalitesini ve atıksu deşarjını izlemede zehirliliğin tespit edilmesi amacı ile atıksuyun toksik seviyesinin bilinmesi gerekir. Bazı durumlarda endüstrilerin atıksuları kimyasal parametreler açısından deşarj standartlarını sağlarken, toksisite test sonuçları atıksuyun potansiyel olarak toksik olduğunu göstermektedir. Atıksuyun toksisitesinin bilinmesi arıtma tesislerinin randımanlı bir şekilde işletilebilmesi, alıcı ortamın korunması için oldukça önemlidir. Çevresel risk değerlendirmeleri ve su kalite kontrol uygulamalarında ekotoksikitenin tespit edilebilmesi için biyoanalizlerin yapılması önem taşımaktadır ve gereklidir [8]. Biyolojik izleme sistemleri biyosensör olarak kullanılan organizma üzerindeki ekolojik sonuçların düzeyini gösterir.

Çalışmanın amacı, piyasada en çok bulunan, doktorlar tarafından reçete edilen ya da reçetesiz olarak satılabilen ve tüketimleri her geçen gün artan analjezik - antienflamatuvar ve beta-blocker grubu ilaçların laboratuvar ortamında hazırlanan sentetik atıksularının akut toksisitelerinin deneysel ortamda belirlenmesidir. Çalışmada, evsel atıksu, endüstriyel atıksu ve yüzeysel sulara en çok karşılaşılan Flurbiprofen, Naproksen ve Propranolol etken maddelerine sahip üç ilaç türünün iki farklı toksisite



test metodu ile çevreye olan toksik etkilerini belirleme çalışmalarını kapsamaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Sentetik atıksu numunesi hazırlama

Tüm ilaçların stok çözeltisi 2 g/L olarak hazırlanmış ve bunlar kullanılarak deney yöntemine göre test çözeltileri hazırlanmıştır. Bazı ilaçlar direkt toz olarak saf su ile hazırlanmış, sudaki çözünürlüğü az olanlar hidroalkolik (< %1 etanol) çözelti ile hazırlanmıştır.

### 2.2. *Lepidium sativum* toksisite testi

*Lepidium sativum*, Cruciferae familyasından gelmektedir. Öncelikli olarak başlangıç aşamasında kazık kök gerçekleşmektedir. Kazık kök oluşumu 4 - 6 cm aralığında uzunluğa ulaştığında yan kök oluşumu gerçekleşmektedir. Kazık kök zamanla kaybolarak saçak kök şeklini almaktadır. Gövde dallanmış otsu bir yapıya sahiptir. *Lepidium sativum* tohumları genellikle kahverengi ve kahverengimsi kırmızı renklerinde bulunmaktadır. Yaklaşık olarak tohumlar 2 mm uzunluğunda, 1 mm genişliğinde ve 0,6 - 1,0 mm aralığında kalınlığa sahiptir. Tohumların minimum çimlenme gücü %80 civarındadır. Çimlenme toprakta 4°C sıcaklıkta başlamaktadır. *Lepidium sativum* ılımlı, nemli iklimlerden hoşlanmaktadır. Yetiştirilme sıcaklığı 10-15 °C aralığında olması gelişimi için yeterli olmaktadır. pH seviyesi 6,0 - 6,5 düzeyinde olmalıdır. *Lepidium sativum* fazla ışığı sevmemektedir.

*Lepidium sativum* toksisite testi Devare ve Bahadır (1994) fitotoksikite üzerine yaptıkları çalışma ile Braunschweig Teknik Üniversitesi Sürdürülebilir Kimya ve Çevre Enstitüsü'nde geliştirilen yöntemle düzenlenerek yapılmıştır [9,14]. 6 adet kontrol ve 3'er adet % 0,625, % 1,25, % 2,5, % 5, % 10 konsantrasyonlarında hazırlanan numuneler için gerçekleştirilmiş, gerekli olduğu durumlarda bu çözelti derişimleri azaltılmış veya yükseltilmiştir. 9 cm'lik cam petri kapları içerisine 2'şer adet 90 mm çapında Whatman 1 marka filtre kâğıdı yerleştirilerek kontrol petri kaplarına 5'er mL saf su, numune petrilere ise hazırlanan farklı seyrelmelerdeki numunelerden 5'er mL konulmuş, filtre kâğıdı altında hiç hava kabarcığı kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Her bir petri kabının içerisine eşit büyüklükte, zarar görmemiş *Lepidium sativum* tohumlarından 25'er adet eşit aralıklarla olacak şekilde yerleştirilmiştir. Petri kaplarının kapakları kapatılarak 72 saat süresince, yaklaşık olarak 25°C sıcaklıkta ve karanlık ortamda inkübasyona bırakılmıştır.

Toksikite testinin 72 saatlik inkübasyon süresi sonunda her bir petri kabı içerisinde bulunan *Lepidium sativum* tohumlarının en iyi gelişim

gösteren 20 tanesinin kök uzunlukları ve bitki yükseklikleri ölçülmüştür. Buna göre, test süresi sonunda numunelerin *Lepidium sativum* tohumlarında gözlemlenen kök uzunluk ve yükseklik ortalama değerleri kontrol petri kaplarında ölçülen ortalama kök uzunluk ve gövde yükseklik değerleri ile kıyaslanarak % inhibisyonları hesaplanmış buna bağlı olarak EC<sub>50</sub> değerleri ve Toksik Birimleri bulunmuştur.

### 2.3. *Daphnia magna* toksisite testi

*Daphnia magna* toksisite testi standart test (OECD, 2004; Test No: 202) prosedürüne göre yapılmıştır [10,11]. Standart freshwater çözeltisi kullanılmadan önce 15 dakika süre ile havalandırılmıştır. *Daphnia magna* yumurtaları (ephippia) sürekli ışık altında (11.000 lux), 20 - 22°C sıcaklıkta 72 saat inkübe edilerek larvaların yumurtadan çıkması sağlanmıştır. Yumurtlamaya aşamasına gelen daphnidler, freshwater çözeltisi kullanılarak kaplara aktarılmış ve 24 saat içerisinde yeni çıkmış daphnidler toplanmıştır.

Deney için hazırlanan sentetik numunelerin çözeltisi deney kaplarına konsantrasyon hacimleri giderek artacak şekilde konulmuştur. Farklı konsantrasyonlardaki her bir derişimdeki numune için, test tabağındaki hücrelere 5'er adet *Daphnia magna* (Straus 1820) (Cladocera, Crustacea) konulmuştur.

Biyodenedelerde, kontrol grubu oluşturularak her kontrol grubuna, deney ortamıyla aynı sayıda olacak şekilde 5'er adet *Daphnia magna* (Straus 1820) (Cladocera, Crustacea) konulmuştur. 24 ve 48 saatlik inkübasyon süresi sonunda her bir deneysel kaptaki hareketsiz ve ölü *Daphnia magna*lar sayılmıştır. Buna göre, % inhibisyon oranı kullanılarak grafiksel interpolasyon ile EC<sub>50</sub> değerleri hesaplanmıştır.

## 3. Bulgular

Deneyde Flurbiprofen, Naproksen ve Propranolol etken maddelerine sahip üç ilaç türünün farklı seyrelmelerdeki numuneleri için *Lepidium sativum* ve *Daphnia magna* toksisite testlerinin hassasiyetleri araştırılmıştır.

Sonuçların kategorize edilmesi için toksisite test sonuçları, toksik birim (TB) olarak ifade edilmiştir. TB sonuçları TB=0 toksik değil, 0<TB<1 hafif toksik, 1<TB<10 toksik, 11<TB<100 çok toksik şeklindeki sınıflandırmaya göre değerlendirilmiştir [12, 13].

$$TB = \left[ \frac{1}{L(E)C_{50}} \right] \times 100 \quad (1)$$

### 3.1. *Lepidium sativum* toksisite testi

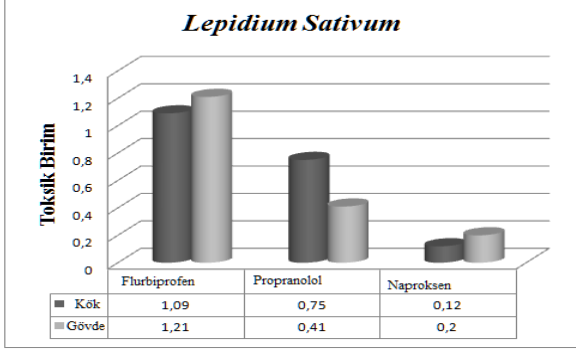
Flurbiprofen, Naproksen ve Propranolol etken maddelerine sahip ilaçlar için *Lepidium sativum*

toksikite test sonucu hesaplanan EC<sub>50</sub> değerleri ve toksik birimleri aşağıda verilmektedir.

**Tablo 1.** *Lepidium sativum* EC<sub>50</sub> Değerleri (mg/L)

E.M.A.	Flurbiprofen	Naproksen	Propranolol
Kök	91,32	779.21	132.26
Gövde	82,35	485.71	242.92

\*(E.M.A: Etken madde adı)



**Şekil 1.** *Lepidium sativum* deneyi toksik birimleri

*Lepidium sativum* toksisite testleri sonucunda toksik birimleri Persoonee ve diğ. (1993) yapmış olduğu sınıflandırmaya göre incelendiğinde kullanılan ilaç numunelerinden Flurbiprofen, Propranolol ve Naproksen etken maddelerinin kökleri için toksik birimleri sırasıyla (TB<sub>Flurbiprofen</sub>:1,09, TB<sub>Propranolol</sub>:0,75 ve TB<sub>Naproksen</sub>:0,12) ve gövdeleri için toksik birimleri ise sırasıyla (TB<sub>Flurbiprofen</sub>:1,21, TB<sub>Propranolol</sub>:0,41 ve TB<sub>Naproksen</sub>:0,20) olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre Flurbiprofenin “toksik”; Propranolol ve Naproksenin ise “hafif toksik” olduğu tespit edilmiştir.

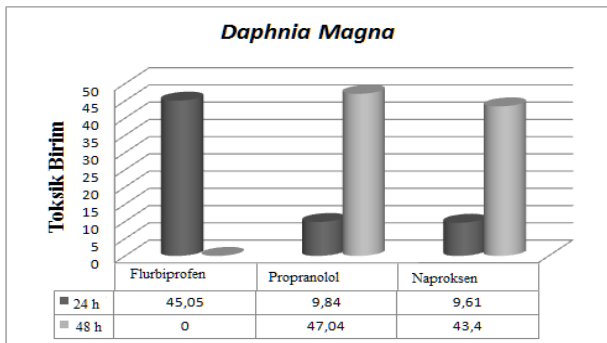
### 3.2. *Daphnia magna* toksisite testi

Flurbiprofen, Propranolol ve Naproksen etken maddelerine sahip üç ilaç türü için *Daphnia magna* toksisite test sonucu 24 saat ve 48 saat sonra okunan EC<sub>50</sub> değerleri ve toksik birimleri aşağıda verilmektedir.

**Tablo 2.** *Daphnia magna* EC<sub>50</sub> Değerleri (mg/L)

E. M. A.	Flurbiprofen	Naproksen	Propranolol
24 saat (mg/L)	2,21	10,39	10,16
48 saat (mg/L)	0,0018	2,3	0,47

\*(E.M.A: Etken madde adı)



**Şekil 2.** *Daphnia magna* deneyi toksik birimleri

*Daphnia magna* toksisite testleri sonucunda toksik birimleri Persoonee ve diğ. (1993) yapmış olduğu sınıflandırmaya göre incelendiğinde kullanılan ilaç numunelerinden Flurbiprofen, Propranolol ve Naproksen etken maddelerinin 24 saat için toksik birimleri sırasıyla (TB<sub>Flurbiprofen</sub>:45,05, TB<sub>Propranolol</sub>:9,84 ve TB<sub>Naproksen</sub>:9,61) ve 48 saat için toksik birimleri ise sırasıyla (TB<sub>Flurbiprofen</sub>:H.Y, TB<sub>Propranolol</sub>:47,04 ve TB<sub>Naproksen</sub>:43,4) olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre 24 saatlik test sonuçları için Flurbiprofenin “çok toksik”; Propranolol ve Naproksenin ise “toksik” olduğu tespit edilmiştir.

### 4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan deneyler sonucunda, deneyde kullanılan üç farklı ilaç türünün de toksik etkilerinin bulunduğu görülmüştür. Test sonuçları incelendiğinde her iki toksisite testi, farklı karakterdeki üç ilaç türü için farklı hassasiyetler gösterdiği tespit edilmiştir. Üç farklı ilaç türü için, kullanılan yöntemler içerisinde en hassas değerlerin elde edildiği toksisite test yönteminin *Daphnia magna* toksisite test metodu olduğu belirlenmiştir.

Her iki toksisite testi için Toksik Birim (Tablo 3) sıralaması; *Lepidium sativum* toksisite deneyinde, kullanılan ilaç numuneleri için, TB<sub>Flurbiprofen</sub>>TB<sub>Propranolol</sub>>TB<sub>Naproksen</sub>, *Daphnia magna* toksisite deneyinde de, kullanılan ilaç numuneleri için, TB<sub>Flurbiprofen</sub>>TB<sub>Propranolol</sub>>TB<sub>Naproksen</sub> olarak bulunmuştur.

**Tablo 3.** Toksikite testleri sonucu elde edilen toksik birimler

TOKSİK BİRİM	Flurbiprofen	Propranolol	Naproksen
<i>Lepidium sativum</i> (Kök)	1,09	0,75	0,12
<i>Lepidium sativum</i> (Gövde)	1,21	0,41	0,2
<i>Daphnia magna</i> (24 Saat)	45,05	9,84	9,61
<i>Daphnia magna</i> (48 Saat)	H.Y	47,04	43,4

Not: H.Y: Hesap Yok

*Daphnia magna* toksisite testi 24 saat ve 48 saat sonraki sonuçlar değerlendirildiğinde, bu test metodunun ilaçların toksisitelerinin belirlenmesinde *Lepidium Sativum* toksisite testine göre daha fazla hassaslıkla ölçüm yapılabilen bir test metodu olduğu görülmüştür. Deneyde 24 ve 48 saat sonraki toksiklik değerleri karşılaştırılmıştır. Kullanılan ilaçlarda 24 saatlik sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda Propranolol ve Naproksen için “toksik”, Flurbiprofen için “çok toksik”, 48 saatlik sonuçlar için ise Flurbiprofen etken maddesine sahip ilaç için sonuç elde edilememiş ve Propranolol ve Naproksen etken maddelerine sahip ilaç numuneleri için “çok toksik” özellik gösterdiği belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda, toksisite testlerinin duyarlılıkları yönünden karşılaştırıldığında ilaç numunelerinin toksisitelerinin belirlenmesinde kullanılabilir her iki ekotoksikite testi içerisinde en uygun yöntemin *Daphnia magna* olduğu, maliyetleri açısından karşılaştırıldığında ise *Lepidium sativum* toksisite testi olduğu görülmüştür. Aynı zamanda her iki ekotoksikite testi sonucunda Flurbiprofenin, Propranolol ve Naproksenden daha fazla toksik etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Yapılan deneyler, ilaçların atıksularda bulunması durumunda çevreye olumsuz etkilerinin olduğunu kanıtlamıştır. Atıksularda, yeraltısularında, içme sularında, çamurda, toprakta ve sedimentte ilaç kalıntıları tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ise ilaçların arıtımının ne derece önemli olduğunu kanıtlar niteliktedir.

### Kaynakça

- [1] Saygı, Ş., Battal, D., Şahin, N. Ö., 2012, Çevre ve insan sağlığı yönünden ilaç atıklarının önemi, *Marmara Pharmaceutical Journal*, 16, 82-90.
- [2] Ruhoy, I. S., Daughton, C. G., 2008, Beyond the medicine cabinet: An analysis of where and why medications accumulate, *Environ Int*, 34, 1157-1169.
- [3] Duong, P. A., Pham, N. H., Nguyen, H. T., Huong, T. T., Pham, V. C., Berg, M., Giger, W., Alder, A. C., 2008, Occurrence, fate and antibiotics resistance of fluoroquinolone antibacterials in hospital wastewaters in Hanoi, Vietnam, *Chemosphere*, 72, 968-973.
- [4] Larrson, D. G. J., de Pedro, C., Paxeus, N., 2007, Effluent from drug manufactures contains extremely high levels of pharmaceuticals, *J Hazard Materials*, 148, 751-755.
- [5] Meriç, S., Kaplan, D., Selçuk, H., Tünay, O., 2001, Endüstriyel Atıksularda Toksikite İzleme ve Azaltma Yöntemleri, IV. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Ankara, Sayfa 160-167.
- [6] SKKY, Su Kirliliği Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, 1991.
- [7] Aydın, M. E., Kara, G., 2006, Organize Sanayi Atıksularının Zehirliliği, *S.Ü. Müh. – Mim. Fak. Derg.*, c.21, s. 3-4.
- [8] Aydın, M. A., Yıldız, S., Özcan, S., Kara, G., 2007, Atıksuların toksisitesinin belirlenmesinde farklı biyotest yöntemlerinin uygulanması, *7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 683-700.
- [9] Devare, M. And Bahadir, M., 1994, Ecotoxicological assessment of inorganic Waste disposal in salt mines. Part 2 : Phytotoxicity tests, *Fresenius Environ, Bull*, 3, 119-126.
- [10] OECD, Guidelines for testing of chemicals, 2004, *Daphnia sp. Acute immobilisation test*, 1-12.
- [11] Standard Operational Procedure, Daphtokit FTM magna, crustacean toxicity screening test for freshwater, 2006, Nazareth, Belgium: MicroBioTests Inc.
- [12] Persoonee, G., Goyvaerts, M.P., Janssen, C.R., de Coen W. And Vangheluwe, M., (1993). Cost-effective acute hazard monitoring of polluted waters and waste drums with the aid of Toxkits. Final Report, CEC Contract ACE 89/BE 2/D3, VABRAP, University of Ghent, Belgium, 600 pages.
- [13] Persoonee, G., Marsalek, B., Blinova, I., et al., 2003, A practical and user-friendly toxicity classification system with microbioassays for natural waters and wastewaters. *Environ Toxicol.*, 18(6): 395-402.
- [14] Aydın, M., E., Bahadir, M., Kolb, M., et al. Evaluation of sustainable toxicity tests for industrial wastewaters, 2008, TÜBİTAK (The Scientific and Technical Research Council Center of Turkey) and JÜLICH (International Bureau of the German Ministry of Education and Research) Project, Project no. 104I136.

## Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi ile Sayım Modelleri için En Uygun Değişken Kümesinin Belirlenmesi

Haydar KOÇ<sup>1</sup>, Tuba KOÇ<sup>\*2</sup>, Emre DÜNDER<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Çankırı

<sup>1</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8568-4717>)

<sup>2</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5204-0846>)

<sup>3</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Samsun

<sup>3</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0230-8968>)

(Alınış / Received: 25.06.2018, Kabul / Accepted: 29.01.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 11.03.2019)

### Anahtar Kelimeler

Değişken seçimi,  
Sayım modelleri,  
Sezgisel optimizasyon

**Özet:** Birçok bilimsel çalışmada sayım verisi olarak adlandırılan negatif olmayan tamsayı değerleri alan nicel veriler kullanılmaktadır. İstatistiğin en temel analiz yöntemlerinden biri olan regresyon analizi kapsamında da sayım verileri oldukça sık kullanılmaktadır. Bağımlı değişkenin tamsayı ile ifade edilebildiği regresyon modelleri sayım modelleri olarak tanımlanır. Bu çalışmada sayım modelleri kapsamında model seçimi incelendi. Sayım modellerinde model seçimi için klasik seçim yöntemleri ve PSO algoritması kullanıldı. Uygulamalar hem simülasyon hem de gerçek veriler üzerinde yapıldı. Sonuç olarak klasik yöntemlerle kıyaslandığında PSO algoritmasının, modeldeki değişken sayısı arttıkça ve bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon değerleri yükseldikçe daha iyi sonuçlar verdiği ve sayım modelleri için PSO algoritmasının değişken seçiminde alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

## Determination of Best Variable Set for Count Models by Particle Swarm Optimization

### Keywords

Variable selection,  
Count models,  
Heuristic optimization

**Abstract:** In most scientific studies quantitative data are used which take non-negative integer values, called count data. Count data are also used frequently in the context of regression analysis, which is one of the most basic analysis methods of statistical analysis. The regression models in which the dependent variable can be expressed by integers are defined as count models. In this study, the model selection in the context of count models was investigated by using classical selection methods and PSO algorithm. Applications were made on both simulation and real data. As a result, it has been shown that PSO algorithm can be used as an alternative method for PSO algorithm selection for count models when the number of model variables increases and the correlation values between independent variables increases as compared to classical methods.

### 1. Giriş

Bilimsel çalışmalarda kullanılan nicel verilerin birçoğu belirli bir değer aralığı içerisinde sürekli değerlere sahip değildir. Verilerin bazıları uygulama alanlarına göre negatif olmayan tamsayılar ile ifade edilmektedir. Bu veriler sayım verileri olarak adlandırılır. İstatistiğin en temel analizlerinden biri olan regresyon analizi kapsamında da sayım verileri kullanılmaktadır. Bağımlı değişkenin tamsayı ile ifade edilebildiği regresyon modelleri sayım modelleri olarak tanımlanır. Sayım modellerinin tahmin gücü bağımsız değişkenlerin modeli açıklayabilme gücüne bağlıdır. Bu amaçla farklı regresyon modellerinde

olduğu gibi, en uygun değişken kümesi belirlenerek regresyon modeli oluşturulmalıdır. Bağımsız değişkenler arasında yüksek derecede ilişkinin bulunması, gereksiz değişkenlerin modele dahil edilmesi gibi çeşitli hatalar regresyon modelinin tahmin performansını düşürmektedir. Regresyon modeli içerisinde en uygun modelin seçimi için değişken seçim algoritmaları uygulanmaktadır. Değişken seçimi için literatürde en sık kullanılan üç klasik yöntem vardır. Bunlar; geriye doğru, ileriye doğru ve adimsal seçim teknikleridir. Ancak bu teknikler birçok durumda iyi sonuçlar vermemektedir [1,2]. Değişken sayısı arttıkça klasik seçim yöntemleri çoğu zaman uygun modeli

seçememektedir. Ayrıca çok yüksek boyutlu verilerde çoklu bağlantı sorunu sebebiyle klasik seçim yöntemleri ile model belirlemek mümkün değildir. Söz konusu problemleri çözmek amacıyla sezgisel optimizasyon tekniklerinden yararlanılmaktadır [3].

Literatür incelendiğinde model seçiminde yapılan çalışmaların büyük bir kısmının lineer ve lojistik regresyon analizi üzerine olduğu görülmektedir. Lineer regresyon analizi için tabu araştırma [4], genetik algoritma [2], hibrit genetik algoritma-benzetimli tavlama metodu kullanılmıştır [5]. Lojistik regresyon analizinde tabu araştırma algoritması [6] ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını kullanarak optimum değişken kümesinin seçimini incelemiştir [7]. Genelleştirilmiş lineer modellerde model seçimi üzerine farklı yöntemler de kullanılmıştır. Poisson regresyon analizinde adimsal bir model seçim yöntemi önermiştir [8]. McLeod ve Xu genelleştirilmiş lineer modeller için değişken seçimi uygulayan bestglm isimli bir paket geliştirmiştir [9]. Calcagno, ve Mazancourt genelleştirilmiş lineer modellerde genetik algoritma kullanarak değişken seçimi uygulayan glmulti isimli bir yazılım paketi oluşturmuştur [10]. Regresyon modellerinde cezalandırma yöntemleri de model seçiminde sıkça kullanılmaktadır. Cezalandırma yöntemleri ile model seçimi konusunda bilinen en genel yöntem LASSO metodudur [11]. Bu metodun ana fikri, modeldeki regresyon katsayılarını sıfıra yaklaştıracak şekilde daraltmaktır. LASSO tekniğinde cezalandırma için elastik net [12], adaptif LASSO [13] yöntemleri geliştirilmiştir.

Cezalandırma yöntemleri kullanarak değişen yayılım parametrelili beta regresyon modeli için değişken seçim tekniği uygulanmıştır [14]. Beta regresyon analizinde model seçimi için bootstrap tekniği kullanılmıştır [15].

Model seçimi üzerinde son derece etkili olan bilgi kriterleri için de çok sayıda çalışma mevcuttur. Regresyon analizinde en çok kullanılan kriterler Akaike ve Bayesci bilgi kriterleridir. Akaike bilgi kriteri yanlılık probleminin çözümü ve küçük örneklemelerde de iyi performans sağlaması için alternatif cezalandırmalar ile düzeltilmiş ve yeni Akaike türü kriterler önerilmiştir [16,17]. Bayesci bilgi kriteri de regresyon katsayılarına ilişkin kovaryans matrisi de cezalandırma terimine dahil olacak şekilde düzenlenmiş ve alternatif iki kriter önerilmiştir [18]. Kovaryans matrisini cezalandırma terimine dahil ederek bilgi kriteri hesaplayan yaklaşım ilk olarak Bozdoğan tarafından önerilmiştir [19]. Bu yaklaşım, cezalandırma terimindeki değişiklikler ile düzenlenerek alternatif kriterler türetilmiştir [20, 21, 22].

Model seçimi, istatistiksel modelleme içerisinde son derece önemli bir konudur. Klasik model seçim algoritmaları, sayım modelleri kapsamında modelin

performansını optimize etme konusunda zayıf olduğundan, sezgisel optimizasyona dayalı yaklaşımlar daha başarılı sonuçlar sağlama potansiyeline sahiptir. Bu sebeple, çalışmanın temel motivasyon kaynağı, sayım modellerinde model seçimi sürecini parçacık sürü optimizasyonu algoritması kullanarak gerçekleştirmektir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Poisson regresyon modeli

Poisson regresyon modeli sayımla elde edilen verilerin modellenmesinde kullanılan temel bir yaklaşımdır.  $Y_i$  ( $i = 0,1,2, \dots$ ), ortalaması  $\mu_i$  olan belli bir zamanda meydana gelen olayların sayısı olsun. Bu durumda  $Y_i$  ler Poisson rasgele değişkenidir ve olasılık fonksiyonu

$$f(y_i; \mu_i) = \frac{e^{-\mu_i} \mu_i^{y_i}}{y_i!} \quad y_i = 0,1,2, \dots \quad (1)$$

ile verilir. Burada, ortalama ve varyans  $E(Y_i) = \text{Var}(Y_i) = \mu_i$  dir. Log-olabilirlik fonksiyonu eşitlik (2)'de verildiği gibidir.

$$\mathcal{L}(\mu; y) = \sum_{i=1}^n \{y_i \ln(\mu_i) - \mu_i - \ln(y_i!)\} \quad (2)$$

$X$ :  $n \times (p + 1)$  boyutlu açıklayıcı değişken matrisi olsun.  $Y_i$  ve  $X$ 'in  $i$ -nci satır vektörü arasındaki ilişki eşitlik (3)'de verilmiştir.

$$\ln(\mu_i) = \eta_i = x_i^T \beta \quad (3)$$

Bu model poisson regresyon veya log-linear model olarak bilinir.  $\beta'$  nın en çok olabilirlik tahmin edicisi  $\hat{\beta}$ , Fisher scoring yöntemi ile elde edilebilir.

Poisson regresyon modelinde iki temel varsayım vardır. Birincisi, olaylar zamana göre birbirinden bağımsız gerçekleşir. İkincisi, şartlı beklenen değer ve varyans birbirine eşittir. İkinci varsayımda bahsedilen eşitlik durumu, eşit yayılım olarak bilinir ve uygulamada çoğunlukla eşit yayılım durumu sağlanmamaktadır ve genelde varyans ortalamadan büyük çıkmaktadır.

### 2.2. Negatif binomial modeli

Poisson regresyon modelinde, bağımlı değişken için varyansın ortalamadan büyük olması, bağımlı değişken değerleri arasında pozitif korelasyonun bulunması veya verilerin olasılıkları arasındaki değişimin yüksek çıkması gibi durumlar aşırı yayılıma neden olabilir. Ayrıca verinin dağılımsal varsayımlarında bir ihlal söz konusu olduğu durumlarda da aşırı yayılım ortaya çıkabilir.

Aşırı yayılım durumunda en sık başvurulan yaklaşım Negatif Binomial Regresyon Modelidir (NBRM). NBRM, modele gözlemlenemeyen heterojenlik terimi

dahil edilerek geliştirilebileceği gibi bir çok farklı yöntem ile de elde edilebilir [23].

Negatif binomial dağılımın olasılık fonksiyonu aşağıda verildiği gibidir:

$$\Pr(y_i|x_i) = \frac{\Gamma(y_i + \alpha^{-1})}{y_i! \Gamma(\alpha^{-1})} \left( \frac{\alpha^{-1}}{\alpha^{-1} + \mu_i} \right)^{\alpha^{-1}} \left( \frac{\mu_i}{\alpha^{-1} + \mu_i} \right)^{y_i} \quad (4)$$

Burada  $\Gamma(\cdot)$  ile gamma fonksiyonu ifade edilmektedir ve  $\alpha$  sabit bir parametredir. Negatif binomial dağılımı için  $y$ 'nin beklenen değeri Poisson dağılımı ile aynıdır. Yani,  $\mu_i = E(y_i|x_i) = e^{x_i \beta}$  'dır.

Ancak varyansı, eşitlik (5)' de verildiği gibidir:

$$\text{Var}(y_i|x_i) = \mu_i(1 + \alpha\mu_i) = e^{x_i \beta}(1 + \alpha e^{x_i \beta}) \quad (5)$$

NBRM'de,  $y$  - nin varyansı, beklenen değerinden büyüktür. Çünkü,  $\mu$  ve  $\alpha$ 'nın her ikisi de pozitifdir. Eşitlik (5),  $\alpha = 0$  olduğunda  $\mu_i$  olur. Yani,  $\alpha = 0$  olduğunda negatif binomial dağılımı poissona indirgenir. NBRM parametreleri tahmininde en çok olabirlik yöntemi kullanılabilir [23].

### 2.3. Sıfır yoğunluklu poisson model

Sıfır yoğunluklu Poisson (ZIP) model, iki aşamalı bir karışım modelidir. Bu model, sıfır değerli gözlemlerin iki farklı şekilde ortaya çıktığını varsayar. Birinci durum  $w_i$  olasılığı ile gerçekleşir ve sadece sıfır üretir. İkinci durum  $(1 - w_i)$  olasılığı ile meydana gelir ve  $\mu$  ortalamalı standart bir Poisson sayım verisi elde edilir.

Genelde birinci durumdan elde edilen sıfırlar yapısal sıfırlar olarak ve Poisson dağılımından kaynaklanan sıfırlar örneklem sıfırları olarak adlandırılır [24].

Bu iki aşamalı süreç iki bileşenli bir karışım dağılımı verir ve olasılık fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\Pr(y_i|x_i, \mu_i, w_i) = \begin{cases} w_i + (1 - w_i)e^{-\mu_i}, & y_i = 0, \\ (1 - w_i) \frac{e^{-\mu_i} \mu_i^{y_i}}{y_i!}, & y_i = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad 0 \leq w_i \leq 1 \quad (6)$$

Bu olasılık fonksiyonu  $Y \sim \text{ZIP}(\mu, w)$  ile gösterilir.  $Y$ 'nin ortalama ve varyansı aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} E(y_i) &= \mu_i(1 - w_i) \\ \text{Var}(y_i) &= (1 - w_i)(\mu_i + w_i\mu_i^2) \end{aligned} \quad (7)$$

Görüldüğü gibi  $Y$ ' nin marjinal dağılımı  $w > 0$  olduğunda aşırı yayılıma izin vermektedir.  $w = 0$  olduğunda standart Poisson dağılımına indirgenmektedir.

Log olabirlik fonksiyonu eşitlik (8)'de verildiği gibidir.

$$\mathcal{L}_{\text{ZIP}}(\mu, w; y) = \sum_{i=1}^n \left\{ I(y_i = 0) \ln[w_i + (1 - w_i)e^{-\mu_i}] + I(y_i > 0) [\ln(1 - w_i) - \mu_i + y_i \ln \mu_i - \ln(y_i!)] \right\} \quad (8)$$

ZIP modeli aşağıdaki iki link fonksiyonu eklenerek elde edilebilir.

$$\begin{aligned} \ln(\mu_i) &= X' \beta \\ \text{logit}(w_i) &= \ln \frac{w}{1 - w} = X' \gamma \end{aligned} \quad (9)$$

### 2.4. Parçacık sürü optimizasyonu

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), sürü halinde hareket eden balıklar ve böceklerden esinlenerek geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir [25]. Temel olarak sürü zekâsına dayanan bir algoritmadır. Sürü halinde hareket eden hayvanların yiyecek ve güvenlik gibi durumlarda, çoğu zaman rastgele sergiledikleri hareketlerin, amaçlarına daha kolay ulaşmalarını sağladığı görülmüştür.

Algoritma temel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur [26];

- I. Rasgele üretilen başlangıç pozisyonları ve hızları ile başlangıç sürüsü oluşturulur.
- II. Sürü içerisindeki tüm parçacıkların uygunluk değerleri hesaplanır.
- III. Her bir parçacık için mevcut jenerasyondan yerel en iyi (pbest) bulunur. Sürü içerisinde en iyilerin sayısı parçacık sayısı kadardır.
- IV. Mevcut jenerasyondaki yerel eniyiler içerisinde küresel en iyi (gbest) seçilir.
- V. Pozisyon ve hızlar aşağıdaki gibi yenilenir.

$$\begin{aligned} V_{id} &= W * V_{id} + c_1 * \text{rand}_1 * (P_{id} - X_{id}) + c_2 * \text{rand}_2 * (P_{gd} - X_{id}) \\ X_{id} &= X_{id} + V_{id} \end{aligned}$$

Burada  $X_{id}$  pozisyon ve  $V_{id}$  hız değerlerini verirken,  $\text{rand}_1$  ve  $\text{rand}_2$  değerleri rasgele üretilmiş sayılardır.  $W$ , atalet ağırlık değeri ve  $c_1, c_2$  ölçeklendirme faktörleridir.

- VI. Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar II, III, IV ve V adımları tekrar edilir.

### 2.5. Bilgi Kriterleri

Log-olabirlik fonksiyonuna dayalı olan bilgi kriteri tabanlı model seçim teknikleri, hem iç içe hem de iç içe olmayan sayı ile ifade edilen modeller için kullanılabilirler. Modele daha fazla parametre eklendiğinde log-olabirliğin artacağı düşünülür. Log-olabirlik artışının cezası, gözlem sayısı kadar parametre sayısını da hesaba katar. Bu çalışmada, iki bilgi kriteri ölçüsü ele alınmıştır.

#### 2.5.1. Akaike bilgi kriteri

Akaike bilgi kriteri (AIC) istatistiksel modellerin uyum iyiliği için kullanılan bir kriterdir.

$$\text{AIC} = -2\mathcal{L} + 2p = D(\hat{\theta}) + 2p \quad (10)$$

Burada  $p$ , modeldeki parametre sayısını ve  $\mathcal{L}$  ise log-olabilirlik fonksiyonunu göstermektedir.

### 2.5.2. Bayesci bilgi kriteri

Aynı zamanda Schwarz kriteri olarak bilinen Bayesci bilgi kriteri (BIC) istatistiksel modellemede çok sık kullanılan bir kriterdir.

$$\text{BIC} = -2\mathcal{L} + (\ln n) p \quad (11)$$

Burada  $n$ , veri setindeki gözlem sayısını  $p$  ise parametre sayısını göstermektedir.

### 3. Bulgular

Uygulama aşamasında iki farklı simülasyon ve bir gerçek veri seti uygulaması yapıldı. Simülasyon tasarımları çoklu bağlantı bulunan ve bulunmayan regresyon modelleri için uygulandı. Model seçim yöntemlerinden ileriye doğru (İ), geriye doğru (G), adımsal (A) ve PSO metotları kullanılarak sayım modelleri için model seçimi sonuçları elde edildi. Uygulama aşamasında seçim yöntemlerinin seçmiş olduğu sayım modellerine ilişkin AIC ve BIC değerleri incelendi. AIC ve BIC değeri daha düşük olan seçim yöntemi daha başarılı olarak kabul edildi. Analizler R yazılımının 3.4.3 versiyonu kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca "pso" ve "COUNT" paketlerinden yararlanılmıştır.

#### Simülasyon çalışması -1

Çalışmanın bu bölümünde çoklu bağlantı problemi içeren regresyon modelleri oluşturuldu. Simülasyon tasarımı için toplam on açıklayıcı değişken ile Poisson, negatif binomial ve sıfır yoğunluklu regresyon modelleri için klasik seçim yöntemleri ve PSO algoritmaları uygulandı. Bağımsız değişkenler aşağıdaki şekilde türetildi:

$$x_1 = 10 + \varepsilon_1 \quad (12)$$

$$x_2 = 10 + 0.3\varepsilon_1 + \alpha\varepsilon_2 \quad (13)$$

$$x_3 = 10 + 0.3\varepsilon_1 + 0.5604\alpha\varepsilon_2 + 0.8282\alpha\varepsilon_3 \quad (14)$$

$$x_4 = -8 + x_1 + 0.5x_2 + 0.3x_3 + 0.5\varepsilon_4 \quad (15)$$

$$x_5 = -5 + 0.5x_1 + x_2 + 0.5\varepsilon_5 \quad (16)$$

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5 \sim N(0, 1)$  dağılımlı hata terimleridir. Eşitlik 12-16 için  $\alpha$  parametresi çoklu bağlantı düzeyini kontrol etmektedir. Bu çalışmada geçmiş çalışmalar baz alınarak  $\alpha = 0.03$  alındı ve bağımlı değişken türetimi aşağıdaki şekilde yapıldı:

$$\lambda = -8 + x_1 + 0.5x_2 + 0.3x_3 + 0.5\varepsilon \quad (17)$$

$\varepsilon_i, i= 1, 2, \dots, n$  için  $\varepsilon \sim N(0,1)$  için dağılımlı hata terimidir. Eşitlik (17)' den bulunan  $\lambda$  değerleri ile  $y \sim$

$\text{Pois}(\lambda)$ ,  $\text{NegBin}(\lambda)$  ve  $\text{ZINFPois}(\lambda)$  biçiminde sırasıyla Poisson, negatif binomial ve sıfır yoğunluklu Poisson dağılımlı bağımlı değişkenler türetildi. Bağımsız değişkenler kümesine bağımlı değişkenler ile ilişkisi olmayan beş adet düzgün dağılımlı değişkenler  $R_j \sim \text{Düzgün}(0,1)$   $j=1,2,3,4,5$  ilave edildi.

1. Simülasyon tasarımı için örneklem sayıları sırası ile  $n=30,50,100,200,500$  olarak alındı.

#### Simülasyon çalışması -2

Bu simülasyon çalışmasında çoklu bağlantı problemi içermeyen regresyon modelleri oluşturuldu. Simülasyon tasarımı için sırasıyla  $p=2,3,\dots,15$  değişken ve  $n=100$  için Poisson, negatif binomial ve sıfır yoğunluklu regresyon modelleri kapsamında klasik seçim yöntemleri ve PSO algoritmaları uygulandı. Bağımsız değişkenler birbirinden bağımsız olarak  $X_k, k=2,3,\dots,15$  için  $N(0,1)$  dağılımına uygun olarak türetildi. Bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon yapısı, çoklu bağlantı problemi içermeyecek biçimde  $\text{cor}(X_i, X_j)=0.10^{|i-j|}$   $i, j=2,3,\dots,15$  için türetildi. Bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenlere ait  $\lambda$  parametreleri ise şu şekilde türetildi:

$$\lambda = X\beta + \varepsilon \quad (18)$$

$\varepsilon \sim N(0, 1)$  dağılımlı hata terimidir.  $\beta=(0.1,0.3,0.5,\dots,s)$  biçiminde artımsal olarak seçildi. Bu denklemden  $s$ , toplam değişken sayısı doğru orantılı olarak 0.1 birim artımlı  $\beta$  değerlerini temsil etmektedir. Eşitlik (18)' den elde edilen  $\lambda$  değerleri ile  $y \sim \text{Pois}(\lambda)$ ,  $\text{NegBin}(\lambda)$  ve  $\text{ZINFPois}(\lambda)$  biçiminde sırasıyla Poisson, negatif binomial ve sıfır yoğunluklu Poisson dağılımlı bağımlı değişkenler türetildi.

#### Gerçek veri uygulaması

Gerçek veri uygulaması için R programında "COUNT" paketi içerisinde yer alan "affairs" hazır veri seti kullanıldı [27]. Bu veri setinde bağımlı değişken tam sayıdır ve veri seti sayım verilerini modellemek için son derece elverişlidir. Bu veri seti üzerinde klasik değişken seçim yöntemleri ve PSO algoritması ile model seçimi uygulandı ve modellerin AIC-BIC değerleri elde edildi.

**Tablo 1.** 1. Simülasyon tasarımında Poisson regresyon modeli için AIC kriteri sonuçları

n	Seçim yöntemi			
	AIC-İ	AIC-G	AIC-A	AIC-PSO
30	80.76578	80.76578	80.76578	80.61614
50	132.17770	132.17770	132.17770	132.10880
100	268.25710	268.25710	268.25710	268.21730
200	536.20400	536.20400	536.20400	536.19640
500	1333.94000	1333.94000	1333.94000	1333.94400

**Tablo 2.** 1. Simülasyon tasarımında Poisson regresyon modeli için BIC kriteri sonuçları

n	Seçim yöntemi			
	BIC-İ	BIC-G	BIC-A	BIC-PSO
30	85.28353	85.28353	85.28353	85.04804
50	139.04800	139.04800	139.04800	138.69240
100	277.98830	277.98830	277.98830	277.75140
200	548.67820	548.67820	548.67820	548.62150
500	1351.59000	1351.59000	1351.59000	1351.54300

Tablo 1 ve 2' de Poisson regresyon modeli için elde edilen 1.simülasyon tasarımı sonuçları gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre 1. simülasyon tasarımı kapsamında PSO algoritması klasik seçim yöntemlerine göre AIC ve BIC değeri daha düşük olan modelleri seçmiştir. Çoklu bağlantı içeren durumlar için PSO daha doğru sonuçlar içeren Poisson regresyon modellerini elde etmektedir.

**Tablo 3.** 2.Simülasyon tasarımında Poisson regresyon modeli için AIC kriteri sonuçları

% (p/n)	Seçim yöntemi			
	AIC-İ	AIC-G	AIC-A	AIC-PSO
2	267.40070	267.40070	267.40070	267.40070
3	268.60160	268.60160	268.60160	268.60160
4	272.08920	272.08920	272.08920	272.08920
5	272.11820	272.11820	272.11820	272.11820
6	267.45050	267.45050	267.45050	267.45050
7	271.93650	271.93650	271.93650	271.93650
8	271.58820	271.58820	271.58820	271.58640
9	271.71860	271.71860	271.71860	271.71860
10	277.01660	277.01660	277.01660	277.01660
11	273.66320	273.66320	273.66320	273.64400
12	270.79890	270.79890	270.79890	270.79850
13	271.18850	271.18850	271.18850	271.18420
14	270.99200	270.99200	270.99200	270.98880
15	271.99420	271.99420	271.99420	271.96750

**Tablo 4.** 2.Simülasyon tasarımında Poisson regresyon modeli için BIC kriteri sonuçları

% (p/n)	Seçim yöntemi			
	BIC-İ	BIC-G	BIC-A	BIC-PSO
2	273.09360	273.09360	273.09360	273.09360
3	276.73480	276.73480	276.73480	276.73480
4	282.54640	282.54640	282.54640	282.54640
5	284.29230	284.29230	284.29230	284.29230
6	281.29520	281.29520	281.29520	281.27240
7	287.23950	287.23950	287.23950	287.23950
8	288.10370	288.10370	288.10370	288.10370
9	289.49090	289.49090	289.49090	289.45200
10	296.19300	296.19300	296.19300	296.16350
11	293.12780	293.12780	293.12780	293.07570
12	291.82580	291.82580	291.82580	291.69400
13	292.45620	292.45620	292.45620	292.38310
14	293.33440	293.33440	293.33440	293.25460
15	295.22230	295.22230	295.22230	295.11200

2. simülasyon tasarımı sonuçları Tablo 3 ve 4' te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde PSO algoritmasının klasik yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca çoklu bağlantı problemi içermeyen durumlarda özellikle değişken sayısı yükseldikçe PSO algoritması AIC ve BIC değeri

daha düşük olan Poisson regresyon modellerini seçmiştir.

**Tablo 5.** Affair verisi kapsamında Poisson regresyon modeli için AIC kriteri sonuçları

Seçim Yöntemi	AIC
AIC-İ	2823.17500
AIC-G	2823.17500
AIC-A	2823.17500
AIC-PSO	2822.76500

**Tablo 6.** Affair verisi kapsamında Poisson regresyon modeli için BIC kriteri sonuçları

Seçim Yöntemi	BIC
BIC-İ	2878.86300
BIC-G	2878.86300
BIC-A	2878.86300
BIC-PSO	2873.51200

Poisson regresyon modeli gerçek veri sonuçları Tablo 5 ve 6'da gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre PSO algoritması Affairs veri setinde klasik seçim yöntemlerine göre daha başarılı sonuçlar elde etmektedir. PSO algoritmasının seçtiği Poisson regresyon modellerinde AIC ve BIC değerleri klasik yöntemlerin seçtiği modeller göz önünde bulundurulduğunda daha düşük değere sahiptir.

Negatif binomial regresyon modeli için 1. ve 2. simülasyon tasarım sonuçları ve gerçek veri uygulaması aşağıda verilmiştir.

**Tablo 7.** 1. Simülasyon tasarımında Negatif binomial regresyon modeli için AIC kriteri sonuçları

n	Seçim yöntemi			
	AIC-İ	AIC-G	AIC-A	AIC-PSO
30	82.2550	82.2550	82.2550	82.1273
50	134.1402	134.1402	134.1402	134.1179
100	270.5371	270.5371	270.5371	270.5230
200	536.2455	536.2455	536.2455	536.2729
500	1330.745	1330.745	1330.745	1330.727

**Tablo 8.** 1. Simülasyon tasarımında Negatif binomial regresyon modeli için BIC kriteri sonuçları

n	Seçim yöntemi			
	BIC-İ	BIC-G	BIC-A	BIC-PSO
30	88.3657	88.3657	88.3657	88.1724
50	142.7844	142.7844	142.7844	142.4788
100	282.5406	282.5406	282.5406	282.5349
200	551.6531	551.6531	551.6531	551.7423
500	1353.393	1353.393	1353.393	1353.117

Tablo 7 ve 8'de negatif binomial regresyon modeli için elde edilen 1. simülasyon tasarımı sonuçları gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre 1. simülasyon tasarımı kapsamında PSO algoritması klasik seçim yöntemlerine göre AIC ve BIC değeri daha düşük olan modelleri seçmiştir. Çoklu bağlantı içeren durumlar için PSO daha doğru sonuçlar içeren negatif binomial regresyon modellerini elde etmektedir.



**Tablo 9.** 2.Simülasyon tasarımında Negatif binomial regresyon modeli için AIC kriteri sonuçları

% (p/n)	Seçim yöntemi			
	AIC-İ	AIC-G	AIC-A	AIC-PSO
2	269.6135	269.6135	269.6135	269.6135
3	270.5622	270.5622	270.5622	270.5622
4	270.1624	270.1624	270.1624	270.1624
5	271.8613	271.8613	271.8613	271.8613
6	276.1486	276.1486	276.1486	276.1486
7	272.1477	272.1477	272.1477	272.1477
8	273.6337	273.6337	273.6337	273.6337
9	274.8716	274.8716	274.8716	274.8716
10	275.6479	275.6479	275.6479	275.6479
11	275.8439	275.8439	275.8439	275.8423
12	276.6164	276.6164	276.6164	276.607
13	278.2293	278.2293	278.2293	278.1894
14	278.6634	278.6634	278.6634	278.6287
15	275.8236	275.8236	275.8236	275.8094

**Tablo 10.** 2.Simülasyon tasarımında Negatif binomial regresyon modeli için BIC kriteri sonuçları

% (p/n)	Seçim yöntemi			
	BIC-İ	BIC-G	BIC-A	BIC-PSO
2	277.9403	277.9403	277.9403	277.9403
3	281.3456	281.3456	281.3456	281.3456
4	283.0921	283.0921	283.0921	283.0921
5	286.5748	286.5748	286.5748	286.5748
6	292.5683	292.5683	292.5683	292.5683
7	298.1889	298.1889	298.1889	298.1889
8	292.6785	292.6785	292.6785	292.6673
9	295.3407	295.3407	295.3407	295.3357
10	296.9031	296.9031	296.9031	296.8889
11	298.3031	298.3031	298.3031	298.2632
12	300.1552	300.1552	300.1552	300.1241
13	302.7383	302.7383	302.7383	302.5759
14	302.0067	302.0067	302.0067	301.9964
15	301.2273	301.2273	301.2273	301.1695

Negatif binomial regresyon modeli için elde edilen 2. simülasyon tasarımı sonuçları Tablo 9 ve 10'da verilmiştir. Çoklu bağlantı problemi içermeyen durumlarda özellikle değişken sayısı yükseldikçe PSO algoritmasının AIC ve BIC değeri daha düşük olan negatif binomial regresyon modellerini seçtiği görülmektedir.

**Tablo 11.** Affair verisi kapsamında Negatif binomial regresyon modeli için AIC kriteri sonuçları

Seçim Yöntemi	AIC
AIC-İ	2299.23355
AIC-G	2299.23355
AIC-A	2299.23355
AIC-PSO	2296.10252

**Tablo 12.** Affair verisi kapsamında Negatif binomial regresyon modeli için BIC kriteri sonuçları

Seçim Yöntemi	BIC
BIC-İ	2223.51400
BIC-G	2223.51400
BIC-A	2223.51400
BIC-PSO	2221.10300

Tablo 11 ve 12'de negatif binomial regresyon modeli gerçek veri sonuçları gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre PSO algoritması Affairs veri setinde klasik seçim yöntemlerine göre daha başarılı sonuçlar elde etmektedir.

Sıfır yoğunluklu Poisson regresyon modeli için 1. ve 2. simülasyon tasarım sonuçları ve gerçek veri uygulaması aşağıda verilmiştir.

**Tablo 13.** 1. Simülasyon tasarımında Sıfır yoğunluklu Poisson regresyon modeli için AIC kriteri sonuçları

n	Seçim yöntemi			
	AIC-İ	AIC-G	AIC-A	AIC-PSO
30	88.3450	88.3450	88.3450	87.9373
50	146.2702	146.2702	146.2702	144.9679
100	281.7771	281.7771	281.7771	280.6280
200	562.3625	562.3625	562.3625	561.2836
500	1402.643	1402.643	1402.643	1401.8672

**Tablo 14.** 1. Simülasyon tasarımında Sıfır yoğunluklu Poisson regresyon modeli için BIC kriteri sonuçları

n	Seçim yöntemi			
	BIC-İ	BIC-G	BIC-A	BIC-PSO
30	94.2478	94.2478	94.2478	93.8963
50	149.7452	149.7452	149.7452	149.2356
100	301.3602	301.3602	301.3602	300.7895
200	592.3547	592.3547	592.3547	592.1254
500	1412.6325	1412.6325	1412.6325	1412.1362

Tablo 13 ve 14' de sıfır yoğunluklu Poisson regresyon modeli için elde edilen 1. simülasyon tasarımı sonuçları gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre 1. simülasyon tasarımı kapsamında PSO algoritması klasik seçim yöntemlerine göre AIC ve BIC değeri daha düşük olan modelleri seçmiştir. Çoklu bağlantı içeren durumlar için PSO daha doğru sonuçlar içeren sıfır yoğunluklu Poisson regresyon modellerini elde etmektedir.

**Tablo 15.** 2.Simülasyon tasarımında Sıfır yoğunluklu Poisson regresyon modeli için AIC kriteri sonuçları

% (p/n)	Seçim yöntemi			
	AIC-İ	AIC-G	AIC-A	AIC-PSO
2	276.2348	276.2348	276.2348	276.2348
3	276.9852	276.9852	276.9852	276.9852
4	277.3247	277.3247	277.3247	277.3247
5	278.1456	278.1456	278.1456	278.1456
6	279.0523	279.0523	279.0523	279.0523
7	280.8563	280.8563	280.8563	280.8563
8	281.3659	281.3659	281.3659	281.3659
9	282.1748	282.1748	282.1748	282.1748
10	283.8741	283.8741	283.8741	283.6235
11	284.6398	284.6398	284.6398	284.5236
12	285.1862	285.1862	285.1862	285.1021
13	286.9963	286.9963	286.9963	286.7253
14	288.6548	288.6548	288.6548	288.6321
15	291.3258	291.3258	291.3258	290.9652

**Tablo 16.** 2.Simülasyon tasarımında sıfır yoğunluklu Poisson regresyon modeli için BIC kriteri sonuçları

% (p/n)	Seçim yöntemi			
	BIC-İ	BIC-G	BIC-A	BIC-PSO
2	285.3659	285.3659	285.3659	285.3659
3	289.6258	289.6258	289.6258	289.6258
4	291.0785	291.0785	291.0785	291.0785
5	292.8574	292.8574	292.8574	292.8574
6	298.5217	298.5217	298.5217	298.5217
7	300.9852	300.9852	300.9852	300.9327
8	301.2386	301.2386	301.2386	301.2321
9	296.2178	296.2178	296.2178	296.1993
10	299.5982	299.5982	299.5982	299.5821
11	302.2185	302.2185	302.2185	301.9962
12	303.1587	303.1587	303.1587	302.8754
13	303.6726	303.6726	303.6726	303.3627
14	304.1289	304.1289	304.1289	304.0185
15	303.8756	303.8756	303.8756	303.5214

Tablo 15 ve 16' da sıfır yoğunluklu Poisson regresyon modeli için elde edilen 2. simülasyon tasarımı sonuçları gösterilmektedir. Çoklu bağlantı problemi içermeyen durumlarda PSO algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

**Tablo 17.** Affair verisi kapsamında Sıfır yoğunluklu Poisson regresyon modeli için AIC kriteri sonuçları

Seçim Yöntemi	AIC
AIC-İ	1928.21512
AIC-G	1928.21512
AIC-A	1928.21512
AIC-PSO	1928.07231

**Tablo 18.** Affair verisi kapsamında Sıfır yoğunluklu Poisson regresyon modeli için BIC kriteri sonuçları

Seçim Yöntemi	BIC
BIC-İ	1958.16705
BIC-G	1958.16705
BIC-A	1958.16705
BIC-PSO	1955.52127

Sıfır yoğunluklu Poisson regresyon modeli gerçek veri Tablo 17 ve 18'de verilmektedir. PSO algoritmasının seçtiği sıfır yoğunluklu Poisson regresyon modellerinde AIC ve BIC değerleri klasik yöntemlerin seçtiği modeller göz önünde bulundurulduğunda daha düşük değere sahiptir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada sayım modelleri kapsamında model seçimleri incelendi. Sayım modellerinde model seçimi için klasik seçim yöntemleri ve PSO algoritması kullanıldı. Çalışma sonucunda klasik değişken seçim yöntemleri olan ileriye doğru, geriye doğru ve adimsal seçim yöntemleri ve PSO algoritması ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldı. Karşılaştırma için değişken seçimi algoritmaları ile elde edilen regresyon modellerinin bilgi kriteri değerleri (AIC ve BIC) baz alındı. Bilgi kriteri değerleri doğrultusunda; seçilen değişken kümeleri ile oluşturulan regresyon modellerinin performansı değerlendirildi. Klasik seçim yöntemlerinin model seçiminde hem

simülasyon hem de gerçek veriler için aynı bilgi kriteri değerlerine sahip olan sayım modellerini seçtiği tespit edildi. Optimizasyon algoritmalarına dayalı olmayan seçim yöntemlerinin çalışma mantığına koşut olarak aynı sayım modellerinin seçilmesi dikkat çekici bir sonuçtur. Simülasyon ve gerçek veri setlerine uygulanan analizler sonucunda her ikisinde de PSO algoritmasının klasik yöntemlere göre daha düşük bilgi kriteri değerine sahip regresyon modelleri seçtiği görülmüştür.

Sonuç olarak klasik yöntemlerle kıyaslandığında PSO algoritmasının, modeldeki değişken sayısı arttıkça ve bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon değerleri yükseldikçe daha iyi sonuçlar verdiği farklı model yapıları [28] gibi sayım modellerinde de PSO algoritmasının değişken seçiminde alternatif bir yöntem olarak kullanılabilceği gösterilmiştir.

#### Teşekkür

Bu makale Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenen Araştırma Projesi (Proje No: FF090316B15) kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda oluşturulmuştur. Yazarlar desteklerinden dolayı Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür etmektedir.

#### Kaynakça

- [1] George, E. I. 2000. The variable selection problem. Journal of the American Statistical Association, 95(2000), 1304-1308.
- [2] Bozdoğan, H. 2004. Intelligent statistical data mining with information complexity and genetic algorithms. Statistical data mining and knowledge discovery(2004), 15-16.
- [3] Lee, K. Y., & El-Sharkawi, M. A. 2008. Modern heuristic optimization techniques: theory and applications to power systems. John Wiley & Sons.
- [4] Drezner, Z., Marcoulides, G. A., & Salhi, S. 1999. Tabu search model selection in multiple regression analysis. Communications in Statistics-Simulation and Computation, 28(1999), 346-367.
- [5] Örkücü, H. H. 2013. Subset selection in multiple linear regression models: a hybrid of genetic and simulated annealing algorithms. Applied Mathematics and Computation, 23(2013), 11018-11028.
- [6] Pacheco, j., Casado, S., & Nunez, L. A. 2009. Variable selection method based on Tabu search for logistic regression models. European Journal of Operational Research, 199(2009), 506-511.
- [7] Unler, A., & Murat, A. 2010. A discrete particle swarm optimization method for feature

- selection in binary classification problems. *European Journal of Operational Research*, 206(2010), 528-539.
- [8] Sakate, D. M., Kashid, D. N., & Shirke, D. T. 2011. Subset Selection in Poisson Regression. *Journal of Statistical Theory and Practice*, 5(2011), 207-219.
- [9] McLeod, A. I., & Xu, C. 2010. R-project.org/package= bestglm. <http://CRAN> (Erişim Tarihi: 19.10.2017)
- [10] Calcagno, V., & Mazancourt, C. 2010. glmulti: an R package for easy automated model selection with (generalized) linear models. *Journal of Statistical Software*, 34(2010), 1-29.
- [11] Tibshirani, R. 1996. Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* (1996), 267-288.
- [12] Zou, H., & Hastie, T. 2005. Regularization and variable selection via the elastic net. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 67(2005), 301-320.
- [13] Zou, H. 2006. The adaptive lasso and its oracle properties. *Journal of the American statistical association*, 101(2006), 1418-1429.
- [14] Zhao, W., Zhang, R., Lv, Y., & Liu, J. 2014. Variable selection for varying dispersion beta regression model. *Journal of Applied Statistics*, 41(2014), 95-108.
- [15] Bayer, F. M., & Cribari-Neto, F. 2014. Bootstrap-based model selection criteria for beta regressions. *TEST*(2014), 1-20.
- [16] Bozdogan, H. 1987. Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. *Psychometrika*(1987), 345-370.
- [17] Hurvich, C. M., & Tsai, C. L. 1989. Regression and time series model selection in small samples. *Biometrika*(1989), 297-307.
- [18] Bollen, K. A., Ray, S., Zavisca, J., & Harden, J. J. 2012. A comparison of Bayes factor approximation methods including two new methods. *Sociological Methods & Research*, 41(2012), 294-324.
- [19] Bozdogan, H. 2000. Akaike's information criterion and recent developments in information complexity. *Journal of mathematical psychology*, 44(2000), 62-91.
- [20] Bozdogan, H. 2010. A new class of information complexity (ICOMP) criteria with an application to customer profiling and segmentation. *Journal of the School of Business Administration*(2010), 370-398.
- [21] Deniz, E., Akbilgic, O., & Howe, J. A. (2011). Model selection using information criteria under a new estimation method: least squares ratio. *Journal of Applied Statistics*, 2043-2050.
- [22] Pamukçu, E., Bozdogan, H., & Çalık, S. 2015. A Novel Hybrid Dimension Reduction Technique for Undersized High Dimensional Gene Expression Data Sets Using Information Complexity Criterion for Cancer Classification. *Computational and mathematical methods in medicine*(2015), Article ID 370640, 14 pages.
- [23] Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. 1998. *Regression Analysis of Count Data*. Cambridge University Press.
- [24] Jansakul, N., & Hinde, J. P. 2002. Score tests for zero-inflated Poisson models. *Computational*, 40(2002), 75-96.
- [25] Eberhart, R., & Kennedy, J. 1995. A new optimizer using particle swarm theory. In *Micro Machine and Human Science. Proceedings of the Sixth International Symposium on IEEE.*, 39-43.
- [26] Özsağlam, M. Y., & Çunkaş, M. 2008. Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması. *Politeknik Dergisi*(2008), 11.
- [27] Hilbe, J. M. 2016. COUNT: Functions, Data and Code for Count Data. R package version 1.3.4. <https://CRAN.R-project.org/package=COUNT>
- [28] Koç, H., Dünder, E., Gümüştekin, S., Koç, T., & Cengiz, M. A. 2018. Particle swarm optimization-based variable selection in Poisson regression analysis via information complexity-type criteria. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, (2018) 47(21), 5298-5306.

## The use of TS498 and TS-EN-1991-1-4 in the Wind Load Calculation of Reinforced Concrete Minarets Considering Soil-Structure Interaction

Erdem TÜRKELİ

Ordu University, Vocational School of Technical Sciences, Construction Department, 52200, Ordu  
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-4712>)

(Alınış / Received: 03.05.2018, Kabul / Accepted: 10.12.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 12.03.2019)

### Keywords

Minaret,  
Wind load,  
Soil-structure interaction,  
Viscous boundaries

**Abstract:** The minarets are among the most beautiful, meaningful and delicate works of Islamic architecture. At early times, although these slender structures were built short and with masonry stone, as time progressed, the construction of minarets with reinforced concrete and that are thin-walled and long were preferred. This has caused many reinforced concrete minarets to be damaged or destroyed under wind and earthquake forces. With regard to this issue, because of the severe winds, many minaret collapse incident took place in Turkey. Due to this reason, in this study, the wind loads acting on a selected reinforced concrete minaret have been calculated in details according to TS498 and TS-EN-1991-1-4 standards. In the calculations made, the effects of soil structure interaction on the calculated wind loads were also examined. At the end of the study, the wind loads obtained in the calculations were compared. The obtained results show that soil structure interaction is a negative effect on wind loads, this interaction increases them and that the soil structure interaction should be included in wind load calculations.

## Betonarme Minarelerin Zemin-Yapı Etkileşimiyle Rüzgâr Yükü Hesaplamasında TS498 ve TS-EN-1991-1-4'ün Kullanılması

### Anahtar Kelimeler

Minare,  
Rüzgâr yükü,  
Zemin-yapı etkileşimi,  
Viskoz sınırlar

**Özet:** Minareler, İslami mimarinin en güzel, anlamlı ve bir o kadar da narin eserleri arasında bulunmaktadır. Bu narin yapılar, ilk zamanlarda, yığma ve kısa bir şekilde yapılmış olmalarına rağmen, zaman ilerledikçe, betonarme, ince cidarlı ve uzun minarelerin yapımı tercih edilmiştir. Bu durum ise birçok betonarme minarenin rüzgâr ve deprem kuvvetleri altında hasar görmesine veya yıkılmasına sebep olmuştur. Bu konu ile ilgili olarak, şiddetli rüzgârlardan dolayı, Türkiye'de de birçok minare yıkılması olayı gerçekleşmiştir. Bu sebepten dolayı, bu çalışmada, TS498 ve TS-EN-1991-1-4 standartlarına göre, seçilen bir betonarme minareye etkiyen rüzgâr yükleri ayrıntılı bir şekilde hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda ayrıca, zemin yapı etkileşiminin, hesaplanan rüzgâr yüklerine etkileri de incelenmiştir. Çalışmanın sonunda, yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen rüzgâr yüklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen veriler, zemin yapı etkileşiminin rüzgâr yükleri üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu, bunları arttırdığını ve rüzgâr yükü hesaplamalarında zemin yapı etkileşiminin de dahil edilmesi gerektiğini göstermektedir.

### 1. Introduction

The minarets used since ancient times are one of the indispensable structures of Islamic architecture. In the early days, they were used to announce the arrival of prayer times to people that are far from the mosques (*Hodja's reading the azan from the minaret*). With the developed technology, by constructing tall and slender minarets, they were also used for

completing the magnificence and impressiveness of the mosques in terms of visuality. For this reason, designers prefer to construct taller and slender minarets. This makes the minarets more vulnerable to earthquake and wind forces.

As in all structures, various types of loads are acting on minarets. Among these, earthquakes and wind loads can be shown as the most important ones.

Recently, so many minarets have been reported to be severely damaged or destroyed due to wind loads [1, 2, 3, 4]. Researches [5] show that many minarets in Turkey were built without any engineering service, only with the experience of craftsmen and contractors and without considering ground conditions and seismicity. For this reason, it is necessary to examine the minarets in details considering the soil-structure interaction (SSI).

Regarding the structural behavior and SSI of minarets, there are so many studies in the technical literature. Doğangün investigated many buildings that were damaged during the Bingöl Earthquake. Among these structures, the structural damages of minarets were also presented [6]. Temüz investigated the calculations of wind loads of minarets according to ACI-307 and TS-498 and performed the structural design of these structures according to results obtained from the cited standards [2]. Sezen *et al.* examined the dynamic behavior of minarets, taking into consideration the structural elements such as balconies, doorways and ladders [5]. Pena *et al.* investigated the seismic behavior of the old masonry tower named as Qutb Minar in India [7]. Livaoğlu examined the dynamic behavior of a steel chimney taking into account SSI and high-temperature effects [8]. Cordero and Fernandez continued the measurement work initiated for the Andalusian minarets by Félix Hernández and Basilio Pavón [9].

In view of the search of the technical literature, although in many studies, the structural behavioral studies of minarets under wind and earthquake loads have been investigated, a few of them dealt with the SSI effect of these structures. Because of this reason, this study may be helpful to complete the absence of the subject in the literature.

In this study, wind loading of reinforced concrete (RC) minarets considering SSI effects was investigated. For this purpose, finite element model of a selected minaret superstructure is constructed and wind loads are calculated for the selected model with and without SSI. Wind load calculations were made according to TS498 and TS-EN-1991-1-4 standards that were adopted in 1997 and 2007, respectively. Also, the obtained results were compared with each other.

## 2. Research Significance

There are so many constructed RC minarets in Turkey and the construction of many of them are in progress. In their service lives, these tall and slender structures are prone to strong wind and severe ground motions. After these miserable events, many of RC minarets are collapsed or heavily damaged. Therefore, the exact behavior of these slender structures should be determined to prevent the lose of lives and economy. From literature survey, it is

apparent that there are a few studies dealing with the wind response of RC minarets that is considering the effect underlying soil. Therefore, it is inevitable to make such a research study about the effect of SSI on wind loading of RC minarets. It is believed by the author that this study will enlighten the ways of designers and theoretician that are studying about the wind responses of RC minarets.

## 3. Material and Method

In this study, TS-498 [10] and TS-EN-1991-1-4 [11] standards that adopted in 1997 and 2007 were used for the determination of wind forces acting on minarets, respectively. The procedures for these standards are briefly described below.

### 3.1. TS-498 wind load procedure

Wind load according to TS-498 [10],

$$W = C_f \cdot q \cdot A \quad (1)$$

is calculated with Eq.1. In Eq.1,  $C_f$ ,  $q$  and  $A$  is denoting the aerodynamic load factor, suction pressure ( $\text{kN/m}^2$ ) and affected area ( $\text{m}^2$ ), respectively. In TS498, a table is presented to determine the  $C_f$  coefficient. In this table, the  $C_f$  coefficient for the minaret superstructure used in the study is 1.60. Furthermore, for  $q$  (*suction pressure*), the suction pressures specified in TS-498 are shown in Table 1 depending on the height from the ground.

**Table 1.** Wind speed and suction depending on height [10]

Height from ground (m)	Wind Speed (v) (m/s)	Suction (q) ( $\text{kN/m}^2$ )
0-8	28	0.5
9-20	36	0.8
21-100	42	1.1
>100	46	1.3

### 3.2. TS-EN-1991-1-4 wind load procedure

Wind load according to TS-EN-1991-1-4 [11],

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (2)$$

is calculated with Eq.2. In Eq.2,  $c_s c_d$ ,  $c_f$ ,  $q_p(z_e)$  and  $A_{ref}$  is denoting structural factor, force parameter for structure, peak velocity pressure at reference height  $z_e$  and reference area for structure, respectively. In this study,  $z_e$  reference height, as already mentioned, is included in the calculations equal to the height of the corresponding minaret superstructure. The structural factor given in Eq.2 can be calculated by using Eq.3 [11].

$$c_s c_d = \frac{1+2 \cdot k_p \cdot I_v(z_e) \cdot \sqrt{B^2+R^2}}{1+7 \cdot I_v(z_e)} \quad (3)$$

In Eq.(3),  $k_p$  is denoting peak factor,  $B^2$  is denoting the background factor (*recommended value of the background factor is 1.0*),  $R^2$  is denoting resonance response factor and  $I_v(z_e)$  is denoting the turbulence intensity at reference height  $z_e$ . Turbulence intensity  $I_v(z)$  can be calculated from Eq.(4) or Eq.(5) which one is suitable for the given condition [11].

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (4)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad z \leq z_{min} \quad (5)$$

Furthermore, the recommended value for the turbulence coefficient,  $k_I$  is 1.0. Also, for the orography coefficient  $c_0(z)$ , it is recommended that 1.0 value be used if there is no turbulence-induced velocity increase on the terrain. In this study, it was assumed that the modeled minaret was located in the sea or coastal area exposed to open sea effect. Because of this reason, in the standard, it is presented that the smallest  $z$  value in Eq.4 and 5 is 1.0 m. and the value of  $z_0$  is 0.003 m., respectively. It has been noted that although the various correlations are presented for calculating the background coefficient ( $B^2$ ), the use of the value 1.0 will be on the more secure side. For this reason, the value of 1.0 is used as the background coefficient in this study. In the calculation of the resonance response coefficient, Eq.6 given in the technical literature has been taken into consideration [12].

$$R^2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot F \cdot \phi_b \cdot \phi_h}{\delta_s + \delta_a} \quad (6)$$

In Eq.(5),  $F$  is denoting wind energy spectrum,  $\phi_b$  is denoting size effect (*breadth of the structure*),  $\phi_h$  is denoting size effect (*height of the structure*),  $\delta_s$  is denoting structural damping expressed by the logarithmic decrement and  $\delta_a$  is denoting aerodynamic damping. The parameters forming the Eq.6 are given in Eq.7, Eq.8, Eq.9 and Eq.10 [11].

$$F = \frac{4C}{[1+70.8(C^2)]^{\frac{5}{6}}} \quad (7)$$

$$\phi_b = \frac{1}{1 + \left[ \frac{3.2 \cdot n_{1,x} \cdot b}{V_m(z_e)} \right]} \quad (8)$$

$$\phi_h = \frac{1}{1 + \left[ \frac{2 \cdot n_{1,x} \cdot h}{V_m(z_e)} \right]} \quad (9)$$

$$\delta_a = \frac{\rho \cdot C_f \cdot b \cdot V_m(z_e)}{n_{1,x} \cdot m_e} \quad (10)$$

In Eq.(7), Eq.(8), Eq. (9) and Eq.(10),  $C$ ,  $n_{1,x}$ ,  $h$ ,  $b$ ,  $V_m(z_e)$ ,  $\rho$ ,  $C_f$  and  $m_e$  are denoting the non-dimensional frequency, the vibration frequency of minaret at 1<sup>st</sup> mod(Hz), total height of the minaret, the outer diameter of the section considered, the mean wind velocity at the top of the minaret, density of air (taken as 1,25 kg/m<sup>3</sup>) [11], force coefficient and equivalent

mass per unit length, respectively. Further, approximate values of the logarithmic decrement of structural damping,  $\delta_s$ , are presented in Table 2.

**Table 2.** Approximate values of logarithmic decrement of structural damping [11]

Structural Type	Structural Damping, $\delta_s$
Reinforced Concrete	0.1
Steel Structures	0.05
Composite Structures (Reinforced Concrete+Steel)	0.08
Reinforced Concrete Towers and Chimneys	0.03

The non-dimensional frequency given in Eq.(7) can be calculated by using Eq.(11) [11].

$$C = \frac{L_c \cdot n_{1,x}}{V_m(z)} \quad (11)$$

In Eq.(11),  $L_c$  denotes the turbulence length scale that is recommended as 150 m [12]. The mean wind velocity  $V_m(z)$  at a height  $z$  above the terrain can be determined using Eq.(12) [11].

$$V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b \quad (12)$$

In Eq.(12),  $V_b$  is denoting basic wind velocity given in Eq.(13),  $c_r(z)$  is denoting the roughness factor and  $c_0(z)$  is denoting the orography factor. The calculation procedure for the basic wind velocity  $V_b$  is shown in Eq.(13) [11].

$$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b,0} \quad (13)$$

In Eq.(13),  $c_{dir}$  is denoting the directional factor,  $V_{b,0}$  is denoting the fundamental value of the basic wind velocity and lastly  $c_{season}$  is denoting the season factor. It is stated in Eurocode 1 that the values of both the directional factor  $c_{dir}$  and the season factor  $c_{season}$  can be taken as 1.00. Therefore, in this study, the values of both the directional factor  $c_{dir}$  and the season factor  $c_{season}$  is taken as 1.00. Moreover, the fundamental value of the basic wind velocity  $V_{b,0}$  is calculated based on logarithmic velocity profile described with Eq.(14) [13].

$$\frac{v}{V_0} = \frac{\ln(H/z_0)}{\ln(H_0/z_0)} \quad (14)$$

In Eq.(14),  $V$  is denoting the speed of wind at height  $H$  and  $V_0$  is denoting the wind speed at height  $H_0$  from the ground.  $H_0$  is generally is taken as 10.00 meters. It is stated in Eurocode 1 that the value of the orography factor  $c_0(z)$  that is given in Eq.(12) can be taken as 1.00 unless otherwise specified in different sources. Therefore, for this study the value of the orography factor is taken as 1.00. The recommended procedure for the determination of the roughness factor for Eq.(12) at height  $z$  is given by Eq.(15) and

Eq.(16) which one is suitable for the given condition [11].

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (15)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad z \leq z_{min} \quad (16)$$

In Eq.(15),  $k_r$  is denoting the terrain factor that can be determined by using Eq.(17) [11].

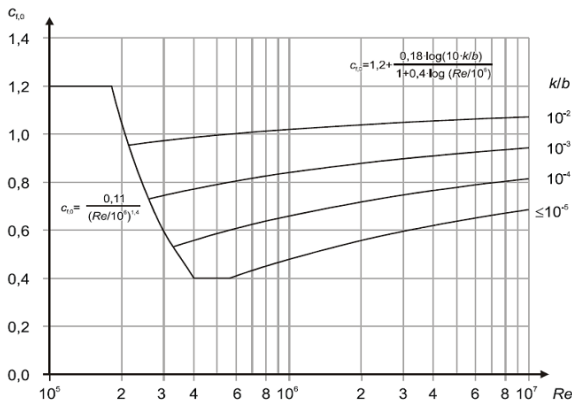
$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,11}}\right)^{0.07} \quad (17)$$

In this study, it is assumed that the minaret is constructed to the sea or coastal area exposed to the open sea effect. Therefore, from a table provided in TS-EN-1991-1-4, the values of  $z_{min}$ ,  $z_0$  and  $z_{max}$  are selected as 1.00 m, 0.003 m and 200 m, respectively.

In order to calculate the aerodynamic damping, the second parameter is the force coefficient whose symbol is  $c_f$ . For a finite circular cylinder, the force coefficient can be calculated from Eq.(18) [11].

$$c_f = c_{f,0} \cdot \varphi_\lambda \quad (18)$$

In Eq.(18),  $c_{f,0}$  is denoting the force coefficient of cylinders without free-end flow and  $\varphi_\lambda$  is denoting end-effect factor. In order to calculate the force coefficient given by Eq.(18), the first parameter that should be determined is the force coefficient of cylinders without free-end flow whose symbol is  $c_{f,0}$ . The parameter  $c_{f,0}$  can be found by using graph shown in Fig.1 [11].



**Figure 1.** Different Values of Parameter  $c_{f,0}$  For Different Values of *Reynolds Number* and  $k/b$  ratios [11]

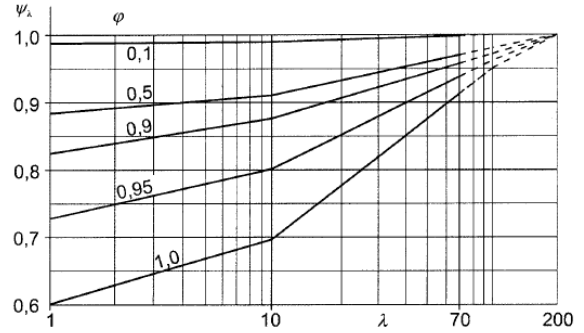
The graph shown in Fig.1 is constructed by using Eq.(19) and Eq.(20) that belong to *Reynolds Number* and  $k/b$  ratios for the sections considered. The equations used in the construction of the graph shown in Fig.1 are as follows [11]:

$$c_{f,0} = \frac{0.11}{(Re/10^6)^{1.4}} \quad (19)$$

$$c_{f,0} = 1.2 + \frac{0.18 \cdot \log(10 \cdot k/b)}{1 + 0.4 \cdot \log(Re/10^6)} \quad (20)$$

In Eq.(19) and Eq.(20),  $Re$  is denoting Reynolds Number,  $k$  is denoting the equivalent surface roughness and  $b$  is denoting the diameter of the section considered. In this study, equivalent roughness for rough concrete is selected as 1.00 mm for the calculations.

End-effect factor  $\varphi_\lambda$  can be determined from the graph shown in Fig.2 as a function of solidity ratio and slenderness [11].

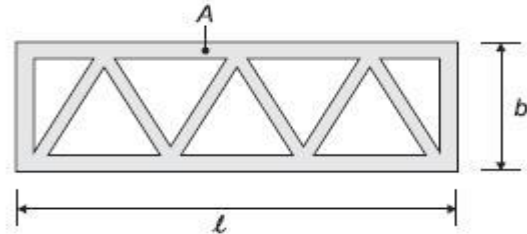


**Figure 2.** Values of End-Effect Factor ( $\psi_\lambda$ ) As a Function of Solidity Ratio ( $\varphi$ ) Versus Effective Slenderness ( $\lambda$ ) [11]

The solidity ratio can be calculated from Eq.(21) [11].

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (21)$$

A rectangular structural element is shown in Fig.3 that is used for showing these two types of areas.



**Figure 3.** The Graphical Representation of Solidity Ratio ( $\varphi$ ) [11]

In Fig.3,  $A$  is denoting the projection areas of the structural elements and  $A_c$  is denoting the total area.

Effective slenderness  $\lambda$  can be found from the table provided in the standard showing the recommended values of effective slenderness. According to the table given in TS-EN-1991-1-4, for circular cylinders whose height is above or equal to 50 meters, effective slenderness can be calculated from Eq.(22) or Eq.(23) which gives smaller values than the other [11].

$$\lambda = 0.7 l/b \quad (22)$$

$$\lambda = 70 \quad (23)$$

Peak factor, which is defined as the ratio of the maximum value of the fluctuating part of the response to its standard deviation, can be calculated from Eq.(24) or Eq.(25) which gives higher values than the other [11].

$$k_p = \sqrt{2 \ln(vT)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \ln(vT)}} \quad (24)$$

$$k_p = 3 \quad (25)$$

The up-crossing frequency (should be equal or less than 0.08 Hz.) in Eq.(24) can be calculated from Eq.(26) [11].

$$v = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad (26)$$

In Eq.(24), T is denoting the average time which is T=600 sec [11].

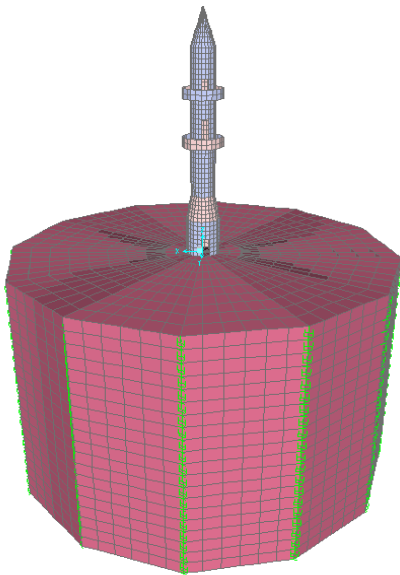
Peak velocity pressure  $q_p(z)$  can be calculated by using Eq.(27) [11].

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2(z) \quad (27)$$

The reference area for the sections of the structure is calculated by assuming that the area swept by the wind is the projection of the cylinder that is considered. In this study,  $\rho$  is denoting the density of air which is 1.25 kg/m<sup>3</sup> [11].

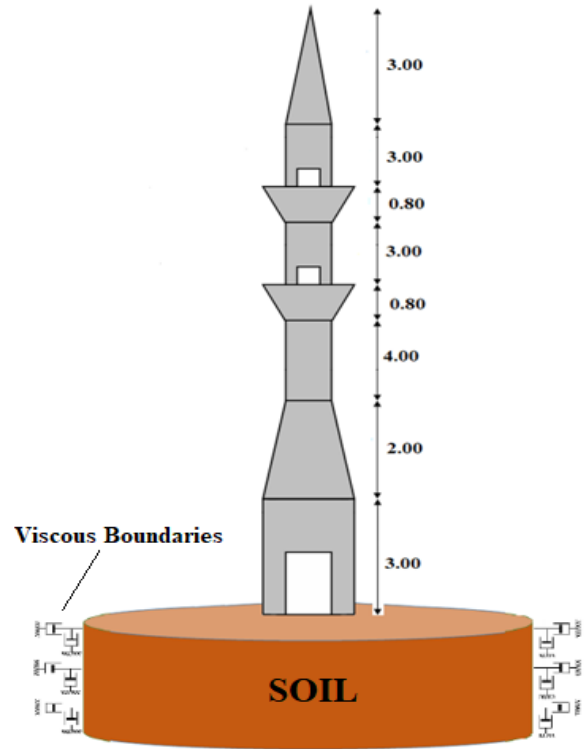
#### 4. Finite Element Model of Soil and Minaret

The finite element model of the minaret and the soil was produced in SAP2000 structural analysis program [14]. The upper structure of the minaret is modeled using shell elements. Also, the foundation and the soil under the foundation is modelled using solid elements (Fig.4).



**Figure 4.** The finite element model of minaret, foundation, soil and viscous boundaries

The minaret is constructed from RC whose unit weight, elasticity module and Poisson's ratio is 23.5 kN/m<sup>3</sup>, 30.000.000 kN/m<sup>2</sup> and 0.2, respectively [18]. The geometrical features of the minaret are given in Fig.5. There are a total of three door openings in the minaret, one at the ground level and the other at the level of the balconies. The height of the door openings is 1.50 m. and they are considered to draw an arc of approximately 30 °. The wall thickness of the minaret is 0.18 m. Furthermore, the height and the diameter of the foundation is 1.0 m and 6.0 m, respectively. The characteristic compressive strength of the concrete is preferred to be used as 16 MPa which is often utilized in practice. In addition, the interaction effect between minaret and the mosque superstructure have not been examined in this study since this interference can change the analysis results. Furthermore, the earthquake analysis of the minaret considered is not included in the scope of this study.



**Figure 5.** Geometrical features of the minaret

The mechanical properties of the underlying soil is selected from the technical literature whose type, Elasticity Module, Poisson's ratio and density are soft, 35000 kN/m<sup>2</sup>, 0.4 and 1800 kg/m<sup>3</sup>, respectively [15]. By using a general acceptance, it is assumed that the length of soil under the minaret is 2.50 times the diameter of the foundation. Furthermore, viscous dampers were added to the boundaries of the soil to examine the effect of SSI (Fig.4-5). It is assumed that the thickness of the soil is 20 m. and after this height the soil is anchored to the main rock that it can be accepted as rigid. Also, it is assumed that the soil is homogeneous in itself. Viscous dampers at the boundaries were modeled using the method proposed by Lysmer and Kuhlemeyer [16]. According



to this method, the boundary condition is a pair of stresses expressed as follows [17],

$$\sigma = a \cdot \rho \cdot V_p \cdot \vartheta_n \quad (28)$$

$$\tau = b \cdot \rho \cdot V_s \cdot \vartheta_t \quad (29)$$

In Eq.(28) and Eq.(29),  $\sigma$  and  $\tau$  are the normal and shear stress on the boundary, respectively. Also,  $v_n$  and  $v_t$  are the normal and tangential particle velocities of the boundary. The other parameters in the cited equations are,  $\rho$ ,  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $a$  and  $b$  which are denoting the unit mass, velocities of P and S waves in the boundary material, dimensionless parameters, respectively. Also, the damping coefficients of the dashpots are for normal and shear directions [17]:

$$c_n = a \cdot \rho \cdot l_0 \cdot V_p \quad (30)$$

$$c_t = b \cdot \rho \cdot l_0 \cdot V_s \quad (31)$$

where,  $l_0$ , is the length of the boundary to which the dashpots are attached. The solid and shell structural elements (Fig.4) that forms the chimney, foundation and soil are divided into the appropriate number of finite elements for the purpose of structural analysis and imaging. As a result of this process, 1412 shell elements and 12720 solid elements were utilized in the structural analysis. Although the minarets are tall and slender structures, it can be said that the first mode mass participation ratios obtained from the analyses are generally higher than the other modes. Because of this reason, in order to obtain the effect of SSI on the wind load of RC minarets, the first mode periods of RC minarets with and without soil are compared with each other. After the structural analyses, the first mode of RC minaret without soil and without foundation is obtained as 0.24622 s (*Upper structure is directly anchored to the ground*). Also, the first mode of RC minaret with soil and foundation (Fig.4) is obtained as 0.55204 s. This shows that SSI is very effective on the dynamic response of RC minarets. The first mode period of RC minaret with soil and foundation increased approximately 124 % compared with the first mode of RC minaret without soil and foundation.

## 5. Results of Wind Load Calculations

In this section of the study, the wind loads acting on RC minaret given in section 3 is calculated according to TS498 and TS-EN-1991-1-4.

### 5.1. According to TS 498

In the wind load calculations according to TS498, as can be seen from Eq.(1), there is no parameter related to the vibration or structural behavior of the considered structure. Therefore, the wind load values

calculated according to TS 498 are independent of the effect of SSI.

**Table 3.** Wind loads according to TS498

No	Height from ground (m)	Cf	q (kN/m <sup>2</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	W (kN)
0	0-3	1.6	0.5	7.5	<b>6.00</b>
1	3-5	1.6	0.5	4.3	<b>3.44</b>
2	5-8	1.6	0.5	5.4	<b>4.32</b>
3	8-11	1.6	0.8	5.4	<b>6.91</b>
4	11-14	1.6	0.8	5.4	<b>6.91</b>
5	14-16.6	1.6	0.8	4.68	<b>5.99</b>
6	16.6-19.6	1.6	0.8	1.8	<b>2.30</b>

As can be seen from Table 3, the wind load values calculated according to TS498 do not include the effects due to the dynamic behavior of the structure and the effects due to SSI. Therefore, for TS498, there is no difference in the wind load values acting on the minaret with and without soil flexibility. The values in Table 3 is valid for the minarets with and without the effect of SSI. Moreover, in wind load calculations using TS 498, no wind speed value is used, but only the relation of the suction force due to the height is emphasized.

### 5.2. According to TS-EN-1991-1-4

According to TS-EN-1991-1-4, wind speed  $V_0$  at the height  $H_0$  (*generally taken at 10 m*) is the first variable to be considered in the wind load calculation. In this study, calculations were carried out assuming that  $V_0$  wind speed is 45 m/s (*approximately 162 km/h*). This value is equivalent to the speed of the storms. The procedure given TS-EN-1991-1-4 for wind loading calculation includes the dynamic behavior of the considered structure as the first mode natural frequency (depending on the first mode period of the structure) is an important parameter in the calculations. Therefore, for the purpose of comparison, the wind loading for RC minaret with and without soil flexibility is given separately.

#### 5.2.1. Calculations without ssi effect

The fundamental value of basic wind velocity depending on  $V_0$  can be calculated as given in Table 4. In this calculation, logarithmic velocity profile is utilized as described in Eq.(14).

**Table 4.** Fundamental value of basic wind velocity

No	Height from ground (m)	$H_0$ (m)	$z_0$ (m)	$V_0$ (m/s)	$V_{b,0}$ (m/s)
0	0-3	10	0.003	45	38.321
1	3-5	10	0.003	45	41.155
2	5-8	10	0.003	45	43.762
3	8-11	10	0.003	45	45.529
4	11-14	10	0.003	45	46.867
5	14-16.6	10	0.003	45	47.812
6	16.6-19.6	10	0.003	45	48.733

Also, basic wind velocity is given in Table 5.

**Table 5.** Basic wind velocity

No	Height From Ground (m)	$V_{b,0}$ (m/s)	$C_{dir}$	$C_{season}$	$V_b$ (m/s)
0	0-3.00	38.321	1.000	1.000	38.321
1	3.00-5.00	41.155	1.000	1.000	41.155
2	5.00-8.00	43.762	1.000	1.000	43.762
3	8.00-11.00	45.529	1.000	1.000	45.529
4	11.00-14.00	46.867	1.000	1.000	46.867
5	14.00-16.60	47.812	1.000	1.000	47.812
6	16.60-19.60	48.733	1.000	1.000	48.733

Then the values of roughness factor for different sections is calculated as given in Table 6.

**Table 6.** Roughness factor for different sections

No	Height From Ground (m)	$z_0$ (m)	$\ln(z/z_0)$	$k_r$	$C_r(z)$
0	0-3.00	0.003	6.908	0.190	1.312
1	3.00-5.00	0.003	7.419	0.190	1.410
2	5.00-8.00	0.003	7.889	0.190	1.499
3	8.00-11.00	0.003	8.207	0.190	1.559
4	11.00-14.00	0.003	8.448	0.190	1.605
5	14.00-16.60	0.003	8.619	0.190	1.638
6	16.60-19.60	0.003	8.785	0.190	1.669

By using the values found in Table 4, 5 and 6, the mean wind velocity can be calculated in Table 7.

**Table 7.** Mean wind velocity for different sections

No	Height From Ground (m)	$C_r(z)$	$C_o(z)$	$V_b$ (m/s)	$V_m(z)$ (m/s)
0	0-3.00	1.312	1.000	38.321	50.295
1	3.00-5.00	1.410	1.000	41.155	58.009
2	5.00-8.00	1.499	1.000	43.762	65.592
3	8.00-11.00	1.559	1.000	45.529	70.995
4	11.00-14.00	1.605	1.000	46.867	75.228
5	14.00-16.60	1.638	1.000	47.812	78.293
6	16.60-19.60	1.669	1.000	48.733	81.340

The size effect parameters are calculated in Table 8.

**Table 8.** Size effect parameters (height and breadth of the structure)

Outer Diameter At Top of The Tower (m)	First Mode Natural Frequency (Hz)	Mean Wind Speed At Top (m/s)	Height of the Minaret (m)	$\phi_b$	$\phi_h$
1.800	0.246220	81.34	19.60	0.983	0.89

In Table 9, the value of wind energy spectrum calculated by using non-dimensional frequency is given.

**Table 9.** Wind energy spectrum and non-dimensional frequency

Turbulence Length Scale (m)	First Mode Natural Frequency (Hz)	Mean Wind Speed At Top (m/s)	C	F
150	0.246	81.340	0.454	0.108

Peak velocity pressure is given in Table 10.

**Table 10.** Peak velocity pressure for different sections

No	Height From Ground (m)	$I_v(z)$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$V_m(z)$ (m/s)	$q_p(z)$
0	0-3.00	0.145	1.250	50.295	3183.122
1	3.00-5.00	0.135	1.250	58.009	4087.620
2	5.00-8.00	0.127	1.250	65.592	5075.001
3	8.00-11.00	0.122	1.250	70.995	5836.997
4	11.00-14.00	0.118	1.250	75.228	6467.791
5	14.00-16.60	0.116	1.250	78.293	6942.694
6	16.60-19.60	0.114	1.250	81.340	7430.154

Reynolds Number is calculated and given in Table 11.

**Table 11.** Reynolds Number calculated for different sections

No	Height From Ground (m)	$V_m(z)$ (m/s)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	Re
0	0-3.00	50.295	0.000015	8,382,534.840
1	3.00-5.00	58.009	0.000015	8,314,604.690
2	5.00-8.00	65.592	0.000015	7,871,040.446
3	8.00-11.00	70.995	0.000015	8,519,358.483
4	11.00-14.00	75.228	0.000015	9,027,393.694
5	14.00-16.60	78.293	0.000015	9,395,111.809
6	16.60-19.60	81.340	0.000015	9,760,793.678

Then, force coefficient of cylinders without free-end flow (Table 12) is calculated.

**Table 12.** Force coefficient of cylinders without free-end flow

No	Height From Ground (m)	k/b	Re	$C_{f0}$
0	0-3.00	0.0004	8,382,534.840	0.885
1	3.00-5.00	0.0004	8,314,604.690	0.893
2	5.00-8.00	0.0005	7,871,040.446	0.901
3	8.00-11.00	0.0005	8,519,358.483	0.904
4	11.00-14.00	0.0005	9,027,393.694	0.906
5	14.00-16.60	0.0005	9,395,111.809	0.908
6	16.60-19.60	0.0005	9,760,793.678	0.909

After that, the value of end-effect factor depending on solidity ratio and effective slenderness is calculated by using the graph given in Fig.2 and given in Table 13.

**Table 13.** The end-effect factor

$0.7^*l/b$	$\lambda$	$\varphi=A/A_c$	$\psi_\lambda$
7.622	70.000	1.000	0.680

Then, the force coefficient is calculated in Table 14.

**Table 14.** The force coefficient for different sections

No	Height		$C_{f,0}$	$\psi_\lambda$	$C_f$
	From Ground	(m)			
0	0-3.00		0.885	0.680	0.602
1	3.00-5.00		0.893	0.680	0.607
2	5.00-8.00		0.901	0.680	0.613
3	8.00-11.00		0.904	0.680	0.615
4	11.00-14.00		0.906	0.680	0.616
5	14.00-16.60		0.908	0.680	0.617
6	16.60-19.60		0.909	0.680	0.618

Aerodynamic damping given with Eq.10 is calculated and shown in Table 15.

**Table 15.** Aerodynamic damping for different sections

$C_f$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Mean Wind Speed At Top (m/s)	$m_e$ (kg/m)	First Mode Natural Frequency (Hz)	$\delta_a$
0.60	1.250	81.340	2289.060	0.246220	0.195
0.60	1.250	81.340	2289.060	0.246220	0.197
0.61	1.250	81.340	2289.060	0.246220	0.199
0.61	1.250	81.340	2289.060	0.246220	0.200
0.61	1.250	81.340	2289.060	0.246220	0.200
0.61	1.250	81.340	2289.060	0.246220	0.200
0.61	1.250	81.340	2289.060	0.246220	0.201

By using the values calculated in Table 8, Table 9 and Table 15, the resonance response factor is calculated and given in Table 16.

**Table 16.** Resonance response factor for different sections

F	$\varnothing_b$	$\varnothing_h$	$\delta_s$	$\delta_a$	R <sup>2</sup>
0.108	0.983	0.894	0.030	0.195	2.643
0.108	0.983	0.894	0.030	0.197	2.622
0.108	0.983	0.894	0.030	0.199	2.602
0.108	0.983	0.894	0.030	0.200	2.594
0.108	0.983	0.894	0.030	0.200	2.589
0.108	0.983	0.894	0.030	0.200	2.585
0.108	0.983	0.894	0.030	0.201	2.582

After calculating resonance response factor, the up-crossing frequency given with Eq.26 is determined and shown in Table 17.

**Table 17.** Up-crossing frequency

B <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	v
1.000	2.643	0.210
1.000	2.622	0.209
1.000	2.602	0.209
1.000	2.594	0.209
1.000	2.589	0.209
1.000	2.585	0.209
1.000	2.582	0.209

Then, the structural factor which is the main parameter of the wind loading provided in TS-EN-1991-1-4 is given in Table 18.

**Table 18.** Structural factor for different sections

$k_p$	$I_v(z_e)$	R <sup>2</sup>	B <sup>2</sup>	$C_s C_d$
3.000	0.114	2.643	1.000	1.282
3.000	0.114	2.622	1.000	1.280
3.000	0.114	2.602	1.000	1.278
3.000	0.114	2.594	1.000	1.277
3.000	0.114	2.589	1.000	1.277
3.000	0.114	2.585	1.000	1.276
3.000	0.114	2.582	1.000	1.276

At last, the wind loading acting on RC minaret without SSI effect is determined and given at the last column of Table 19 in bold and italics.

**Table 19.** Wind loading of RC minaret without SSI effect

Height From	$C_s C_d$	$C_f$	$q_p(z)$	$A_{ref}$	$F_w$
					(kN)
Ground					
0-3.00	1.282	0.602	3183.122	7.50	<b>18.416</b>
3.00-5.00	1.280	0.607	4087.620	4.30	<b>13.663</b>
5.00-8.00	1.278	0.613	5075.001	5.40	<b>21.461</b>
8.00-11.00	1.277	0.615	5836.997	5.40	<b>24.751</b>
11.00-14.00	1.277	0.616	6467.791	5.40	<b>27.479</b>
14.00-16.60	1.276	0.617	6942.694	4.68	<b>25.598</b>
16.60-19.60	1.276	0.618	7430.154	1.80	<b>10.550</b>

**5.2.2. Calculations with ssi effect**

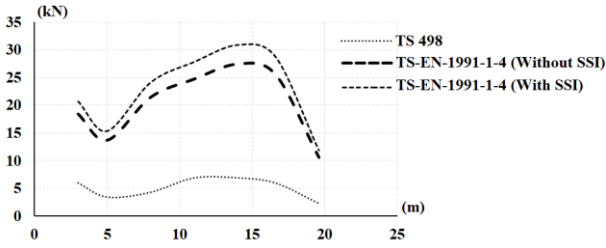
In the preceding section, wind loading of considered RC minaret without SSI effect is detailed given in Table 4-19. Therefore, there is no need to give detailed wind load calculation of considered RC with SSI effect. Therefore, only main parameters of wind load acting on the considered RC minaret is given in Table 20.

**Table 20.** Wind loading of RC minaret with SSI effect

Height From	$C_s C_d$	$C_f$	$q_p(z)$	$A_{ref}$	$F_w$
					(kN)
Ground					
0-3.00	1.440	0.602	3183.122	7.500	<b>20.682</b>
3.00-5.00	1.437	0.607	4087.620	4.300	<b>15.343</b>
5.00-8.00	1.435	0.613	5075.001	5.400	<b>24.098</b>
8.00-11.00	1.434	0.615	5836.997	5.400	<b>27.791</b>
11.00-14.00	1.433	0.616	6467.791	5.400	<b>30.854</b>
14.00-16.60	1.433	0.617	6942.694	4.680	<b>28.742</b>
16.60-19.60	1.433	0.618	7430.154	1.800	<b>11.845</b>

**5.2.3. Comparison of wind loadings**

In this part of the study, the wind loadings of the considered RC minaret according to TS498 and TS-EN-1991-1-4 are compared with each other.



**Figure 6.** Graph of the wind loads obtained from TS498 and TS-EN-1991-1-4

From Fig.6, it can be clearly seen that the wind loadings obtained for all sections according to TS-EN-1991-1-4 is approximately 200-300 % larger compared to those obtained from TS498. It is because of the reason that the equation provided in TS498 do not include the dynamic behaviour of the structure. However, in the equation provided in TS-EN-1991-1-4, the mode frequency of the structure is included in the calculations. Also, by using TS498, the wind speed is considered in the suction pressure as the only parameter that changed wind speed is the total height from the ground. Although this is the case for TS498, in TS-EN-1991-1-4, logarithmic velocity profile is utilized in determining wind speed that is used in the calculations. Also, from Fig.6 and for both standards considered, it is clearly seen that there are two sudden drops in the wind loads that are calculated (*although the wind speed increases with height*). These are the places where there is a decrease in the reference area that is affected from the wind. The first drop place is the transition segment that is between pulpit (*boot*) and cylindrical body of the considered RC minaret. The second drop place is the spire part which has the conical shape on top of the considered RC minaret. Other than these, for all sections considered, by using TS-EN-1991-1-4, considering SSI has an adverse effect on the wind loading that it increased the wind loading approximately 12 %.

## 6. Discussion and Conclusion

In this study, the wind loads of a selected RC minaret is calculated according to two Turkish Standards namely TS498 and TS-EN-1991-1-4. Then, some comparisons are performed in order to show the effect of these cited standards on the wind loads acting. Also, the effect of SSI on the wind loads is investigated. In the SSI investigations, the boundaries of the soil is modelled by using viscous boundaries which have a general usage among scientists about this subject. Some of conclusions deduced from the findings of this study are given below:

For all sections considered, the wind loadings obtained from TS-EN-1991-1-4 are approximately 200-300 % higher than the ones obtained from TS498. However, from Fig.6, it can be clearly seen that the general trend of the wind loadings are following the same path along the height of the

minaret. Also, the dynamic behavior of the minaret has an importance in the wind loads that are calculated by including the first mode natural frequency of the minaret in the equation of standard TS-EN-1991-1-4. Because of this reason, two different wind loadings are obtained for all sections by considering the effect soil flexibility with the same standard (TS-EN-1991-1-4). By adding soil flexibility to the system (viscous boundaries), the wind loadings increased approximately 12 %. Moreover, only considering SSI in the dynamic analysis, the first mode natural frequency of the minaret changed from 0.24622 s to 0.55204 s. This shows that SSI is very effective on the dynamic response of RC minarets. This should be the case in all real life civil engineering structures.

In conclusion, minarets are tall and slender structures that are very important for Islamic architecture. Therefore, it is very important for us to preserve and herit these structures to the next generations. To do that the wind and other destructive effects should be determined precisely and application projects of these slender structures should be prepared according to the findings of these investigations.

## Acknowledgment

This study is dedicated to venerable memory of our light, great scientist and a honorable person Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ whom we lost in 07.03.2017.

## References

- [1] Doğangün, A., Acar, R., Livaoglu, R., Tuluk, İ. 2006. Performance of Masonry Minarets against Earthquakes and Winds in Turkey. 1<sup>st</sup> International Conference on Restoration of Heritage Masonry Structures, 24-27 April, Cairo, Egypt.
- [2] Temüz, H. T. 2007. Minarelerin rüzgar yükleri altında davranışlarının incelenmesi ve bunların rüzgara göre hesabı. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 108s, Trabzon
- [3] DHA. 2015. İzmir’de fırtına, 36 metrelik minareyi devirdi.<http://www.haberturk.com/gundem/haber/1041867-izmirde-firtina-36-metrelik-minareyi-devirdi> (Erişim Tarihi: 02.04.2018).
- [4] Pekgökgöz, R. K., Taş, G. 2017. Ayarlı Kütle Sönümleyicili Yüksek Minarelerin Dinamik Analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(1), 265-282.
- [5] Sezen, H., Acar, R., Doğangün, A., Livaoglu, R. 2008. Dynamic analysis and seismic performance of reinforced concrete minarets. Engineering Structures, 30, 2253-2264.

- [6] Doğangün, A. 2004. Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey. *Engineering Structures*, 26, 841-856.
- [7] Peña, F., Lourenço, P. B., Mendes, N., Oliveira, D. V. 2010. Numerical models for the seismic assessment of an old masonry tower. *Engineering Structures*, 32(5), 1466-1478.
- [8] Livaoglu, R. 2014. The numerical and empirical evaluation of chimneys considering soil structure interaction and high-temperature effects. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 178-190.
- [9] Ortiz-Cordero, R., Fernández, R. E. H. 2017. Multivariate study and proportion study for classification and dating of Islamic Al-Andalus' minarets: A first approach. *Journal of Cultural Heritage*, 24, 117-123.
- [10] Turkish Standard Institute 1997. Turkish Standard, TS498: The Calculation Values of Loads used in Designing Structural Elements. Ankara, Turkey, 21 p.
- [11] Turkish Standard Institute 2007. Turkish Standard, TS-EN-1991-1-4: Actions on structures - Part 1- 4: General actions - Wind actions, Ankara, Turkey, 122 p.
- [12] Handa, K. 2006. European Standard For Wind Loads Notes (Eurocode EN 1991-1-4 Wind Actions), 10 p.
- [13] Türkeli, E. 2009. Analyzing wind effects on slender reinforced concrete chimneys and calculation of these structures according to wind loads. Ondokuz Mayıs University, Institute of Life Sciences, Ms. Thesis, 203 p., Samsun.
- [14] Wilson, E.L. 2000. "Sap 2000: Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures", Computers & Structures: Berkeley, CA.
- [15] Livaoglu, R., Doğangün, A. 2007. Effect of foundation embedment on seismic behavior of elevated tanks considering fluid-structure-soil interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27(9), 855-863.
- [16] Lysmer, J., Kuhlemeyer, R. L. 1969. Finite dynamic model for infinite media, *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 95(4), 859-878.
- [17] Bao, H., Hatzor, Y. H., Huang, X. 2012. A new viscous boundary condition in the two-dimensional discontinuous deformation analysis method for wave propagation problems. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45(5), 919-928.
- [18] Türkeli, E., Livaoglu, R., & Doğangün, A. 2015. Dynamic response of traditional and buttressed reinforced concrete minarets. *Engineering Failure Analysis*, 49, 31-48.

## Appendices

A	Affected area (m <sup>2</sup> )
A	Projection areas of the structural elements
A <sub>c</sub>	Total area
A <sub>ref</sub>	Reference area for structure
b	Outer diameter of the section considered
B <sup>2</sup>	Background factor
C	Non-dimensional frequency
C <sub>dir</sub>	Directional factor
C <sub>f</sub>	Force coefficient
C <sub>f</sub>	Aerodynamic load factor
C <sub>f</sub>	Force parameter for structure
C <sub>f,0</sub>	Force coefficient of cylinders without free-end flow
c <sub>0</sub> (z)	Orography coefficient
c <sub>r</sub> (z)	Roughness factor
c <sub>s</sub> C <sub>d</sub>	Structural factor
C <sub>season</sub>	Season factor
F	Wind energy spectrum
h	Total height of the minaret
I <sub>v</sub> (z <sub>e</sub> )	Turbulence intensity at reference height z <sub>e</sub>
k	Equivalent surface roughness
k <sub>t</sub>	Turbulence coefficient
k <sub>p</sub>	Peak factor
k <sub>r</sub>	Terrain factor
L <sub>c</sub>	Turbulence length scale
m <sub>e</sub>	Equivalent mass per unit length
n <sub>1,x</sub>	Vibration frequency of minaret at 1 <sup>st</sup> mod(Hz)
q	Suction pressure (kN/m <sup>2</sup> )
q <sub>p</sub> (z <sub>e</sub> )	Peak velocity pressure at reference height z <sub>e</sub>
R <sup>2</sup>	Resonance response factor
Re	Reynolds Number
T	Average time (T=600 sec.)
V	Speed of wind at height H
V <sub>0</sub>	Wind speed at height H <sub>0</sub> from the ground
V <sub>b</sub>	Basic wind velocity
V <sub>b,0</sub>	Fundamental value of the basic wind velocity
V <sub>m</sub> (z)	Mean wind velocity at a height z
V <sub>m</sub> (z <sub>e</sub> )	Mean wind velocity at the top of the minaret
ϕ <sub>b</sub>	Size effect ( <i>breadth of the structure</i> )
ϕ <sub>h</sub>	Size effect ( <i>height of the structure</i> )
δ <sub>s</sub>	Structural damping expressed by the logarithmic decrement
δ <sub>a</sub>	Aerodynamic damping
ρ	Density of air (taken as 1,25 kg/m <sup>3</sup> )
ψ <sub>λ</sub>	End-effect factor.
λ	Effective slenderness
v	Up-crossing frequency

## Effect of Stitch Types Used in Apparel Production on Aerobic Mesophilic Bacteria Growth

Behiye Elif ŞAMLI\*<sup>1</sup>, Zümrüt BAHADIR ÜNAL<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

<sup>1</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4436-0636>)

<sup>2</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5028-3844>)

(Alınış / Received: 04.12.2017, Kabul / Accepted: 26.12.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 12.03.2019)

### Keywords

Bacteria,  
Stitch types,  
Antibacterial yarn,  
Hygiene,  
Textiles

**Abstract:** In this study, the effect of stitch types (those commonly used in apparel production) on antibacterial activity was investigated. Determination of best stitch types through hygienic environments, where dangerous situations exist such as infection was intended. For this purpose, the antibacterial activity of various stitches was tested within the framework of the ASTM E2149 standard. Bleached reusable clinical aprons` fabrics, those comprising 65% polyester – 35% viscon mixture were named as alpaca weave fabric. Onto these alpaca fabrics, 3 different stitches with various yarns (3 threads overlock + chain stitch, lockstitch with lap felled seam and 5 threads overlock) were applied. Evaluation of findings showed that there are no significant differences according to stitch types.

## Hazır Giyim Üretiminde Kullanılan Dikiş Türlerinin Aerobik Mezofilik Bakteri Büyümesine Etkisi

### Anahtar Kelimeler

Bakteriler,  
Dikiş türleri,  
Antibakteriyel iplik,  
Hijyen,  
Tekstil

**Özet:** Bu çalışmada, hazır giyim üretiminde yaygın olarak kullanılan dikiş çeşitleri arasında antibakteriyel etkinlik bakımından farklılık olup olmadığı araştırılmıştır. Böylece enfeksiyon gibi tehlikeli durumların varlığında hijyenin önemli olduğu ortamlar için en uygun dikiş çeşidine karar verilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, çeşitli dikişlerin antibakteriyel aktivitesi ASTM E2149 standardı çerçevesinde tespit edilmiştir. Çok kullanımlık klinik önlüklerde kullanılan 65% polyester – 35% viscon karışımı ağartılmış alpaka dokuma kumaşa antibakteriyel etkinliği olan ve olmayan dikiş iplikleriyle 3 iplik overlok + zincir dikiş, kot dikişi ve 5 iplik overlok dikişleri olmak üzere 3 farklı dikiş uygulanmıştır. Bulgular değerlendirildiğinde dikiş çeşidine göre anlamlı bir farklılık olmadığı belirlenmiştir.

### 1. Introduction

Microorganisms such as bacteria, viruses, fungi and yeasts are present almost everywhere (on the body, air, soil). Inanimate and common surfaces in hospital areas are metal, glass, plastic, ceramics, and textiles. In the medical, technical, industrial, home furnishing and apparel sector, some of the textiles finishing processes include antimicrobial aiders. When conditions are proper for microbial growth, microorganisms could easily multiply exponentially. Antibacterial clothes are preferable in food or health sectors; i.e. multi-use clinical coats, linens for hospitals, etc. since hygienic conditions are very important. The literature illustrates healthcare

textiles, including uniforms or apparel, as a vector for transmission of microorganisms that cause infections

and illnesses, patients and the community [1]. Antibacterial fabrics are important not only in medical applications but also in terms of daily life usage. Therefore, textile finishes with added value particularly for hygienic clothes are genuinely appreciated and there is an increasing demand on the global scale. The antibacterial materials like fabrics, clothes are become important to avoid cross-contamination by pathogenic microorganisms, especially bacteria such as *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*, to restrict the uncontrolled growth of bacterial population and

\* Corresponding author: behiye.elif.samli@ege.edu.tr

to destruct metabolism in microbes (to cut odour formation). *E. coli* is also considered a potential pathogen and resides mainly in the small intestine. However, it can also be found in the inguinal and perineal areas contaminated by urine and feces [2]. Cloths for medical and hygienic use have become important in the textile industry. There are many studies on the association between microorganisms and fabrics, and it is clear that microorganisms can survive on pieces of stuff. People come into contact with Coliform bacteria at various sources sites. It appears that Coliform bacteria can survive on fabrics longer than the values mentioned in earlier studies [3]. Previous papers concluded that apparel is often contaminated with micro-organisms or pathogens that can cause infections or illnesses. There are various studies in the literature on antibacterial containing cloth materials, their safety, sufficiency, etc. Many parameters affect the antibacterial activity of the new textiles developed; application method, materials, used fabric structures, exposed surfaces, environmental conditions (light, temperature, period, etc.) [3-7]. In the apparel industry, there are 3 main stitch types and other methods developed from these types. In order to produce novel products, there is not any common comment about the effect of stitch type on antibacterial activity of fabrics. Due to stitch type, fabric layer thickness, amount of yarn used, stitch volume and densities could vary unpredictably. These parameters may affect antibacterial activity. The studies in the literature were about the examination of the antibacterial properties of the fabric or sewing thread. Differently, in this study, the effect of stitch types of the fabric on the antibacterial property was investigated. The critical focus of this study was the determination of the effect of stitch type on bacterial growth and additionally, determination of most effective stitch type for lowering bacterial growth (if it exerts an antibacterial effect).

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

Multiuse clinical coats are used widely used in many places, beside hygiene required sectors i.e. medical, food. The garments used in laboratory coats possess diverse characteristics. In this study, a widely used white coat garment was focused on. These garments do not maintain antibacterial activity, bleached previously, comprising 65% polyester – 35% viscon mixture which named as alpaca weave fabric. Fabrics have 202.7 gr/m<sup>2</sup> weights, 22 threads/cm warp density, 19.8 threads/cm weft densities and fabric texture is (1x1) plain weave. Stitches were performed with 24 Tex (yarn counts), 120 tkt (ticket number), having same twist count polyester Core Spun yarns.

In recent years, many antibacterial materials have

been developed targeting the textile industry. These materials exhibit many differences, according to their chemical structure, working mechanisms, adhesion characteristics, resistance to external effects. Their price and interactions with microorganisms, effects on people and the environment also may vary. The most common active ingredients in antibacterial applications are triclosan, quaternary ammonium salts, and heavy metals i.e. Ag, Cu, Zn, etc. [8-9]. Antibacterial yarns, used in analyses, were treated with zinc. Table 1 shows the chemical composition of yarns in form of Material Safety Data Sheet (MSDS).

**Table 1.** The chemical content of the antimicrobial yarn

Active ingredient	% Rate
Zinc 2-pyridinethiol-1-oxide	48
Non-active substance	52
Total	100

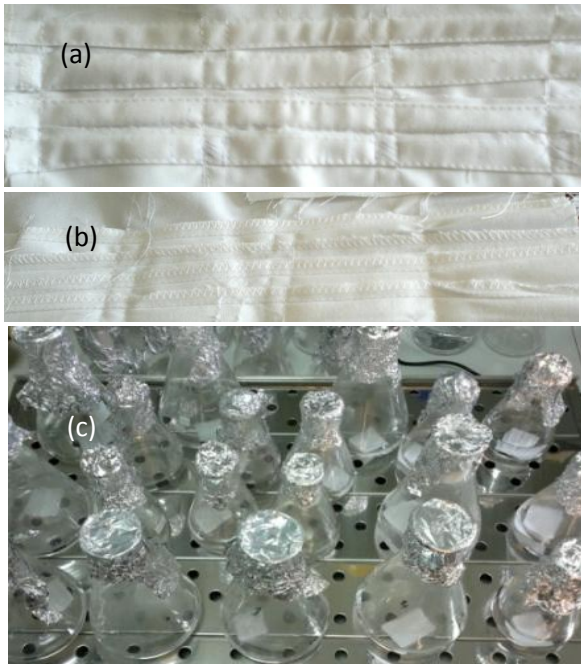
In the scope of material surface preparation processes, stitches widely used in apparel production were applied; those were 3-5 thread overlock, chain stitch and seam margin. Stitch density was set constant. Repetitions of trials were applied in the same machine with the same settings. Stitch density of fabrics is 3 stitch/cm. Yarn and stitch samples used in the study are listed in Table 2 according to their codes.

**Table 2.** Stitch types

Sample Code	Stitch types	Yarn Types
A1	3 thread overlock + chain stitch (504+101)	antimicrobial yarn
N1	3 thread overlock + chain stitch (504+101)	normal yarn
A2	5 thread overlock (516)	antimicrobial yarn
N2	5 thread overlock (516)	normal yarn
A3	Lockstitch (301, Lap felled seam)	antimicrobial yarn
N3	Lockstitch (301, Lap felled seam)	normal yarn

The fabric was assessed for its antibacterial activity according to the method, ASTM E2149 [10]. Stitched fabrics used in sewing aprons were sampled in form of 2 x 2 cm square shapes. While cutting materials for taking samples, surfaces with a dense amount of stitches were preferred. In Figure 1, stitched materials and square cut fabric samples were shown.

In analyses, to observe microbial growth *Escherichia Coli* (gram (-) bacteria; RSHM # 4024) was selected. *E.coli* is a fecal coliform bacteria. Coliform bacteria are frequently used as indicator microorganisms, showing presence fecal contamination within the material (resulting from unhygienic preparation conditions or insufficient sanitary procedures) [11].



**Figure 1.** Stitched fabrics (a,b) and square cut samples incubated in Erlenmeyer flasks (c) and at a thermal shaker

## 2.2. Methods

Various analysis methods are used for the determination of antibacterial activity of textile products. In the study, analyses were performed within the framework of standard ASTM E2149. This test method was developed to detect the resistance of antibacterial treated fabrics against microbial growth under dynamic conditions. The reason for selecting dynamic shake flask method in this study is for antibacterial stitches are in fabric samples.

Foil wrapped samples, and glass materials were sterilized in an autoclave at 121°C and 1.5 atmospheric pressure for 15 min. Antibacterial incorporated fabric sample, sample (having definite antibacterial activity), and non-treated fabric sample were tested all together.

Trials were replicated three times. Fabrics were held in  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  buffer solution rather than a broth medium. *E. coli* bacteria were diluted  $10^5$  fold in appropriate dilution liquids. The numbers of bacterial colonies were adjusted with the help of Mc Farland. Dilutions were made with 0.1% peptone solution. 50 ml buffer solution ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , Potassium di-hydrogen phosphate) was used for pH stabilization. Reliability of the dilution was checked with Mc Farland device. The cell concentration of bacteria for this work was 0.5 CFU/ml (colony forming units per one microliter) which is equal to  $2.5 \times 10^7$  CFU *E. coli* / ml. 2 x 2 cm cut stitched samples were inoculated with  $10^5$  CFU/ml (500 µl densities) inoculum (*E. coli*). Flasks were incubated in a shaking incubator at 37°C/100 rpm/1 h. Broth media was prepared with Spread Plate method. Inoculation was done onto Nutrient agar and Soy agar media in sterile dishes. 100µl

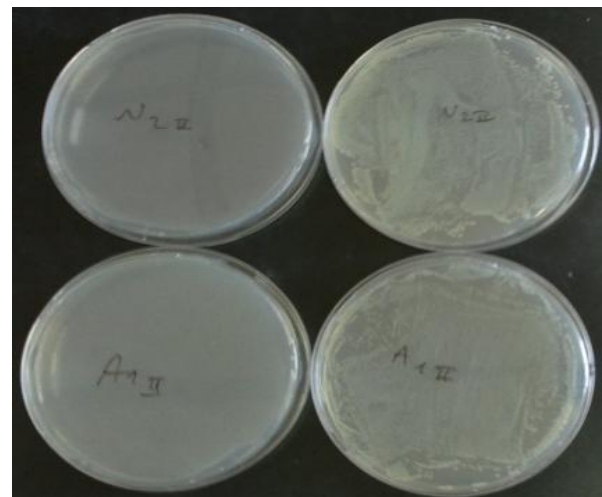
liquor was taken with Automatic Micropipette (Finn Pipette, Thermo Fisher, USA) from Erlenmeyer flasks containing fabric samples in  $10^5$  CFU *E. coli*/ml solution and inoculated onto dishes.

Disk diffusion method was used for antimicrobial susceptibility test (adapted from ASTM 2149 standard and the method used by Bauer et al. 1966). Method's principle was based on evaluating the area of clear zones proving the presence of inhibitory substances preventing microbial growth on media (because of releasing the antibacterial component) [12].

Petri dishes were incubated under aerobic conditions at 37°C for 24 hours. The flasks were put back into the incubator and incubated at 37°C at 100 rpm for 24 hours. 100µl liquor was taken from 24 h incubated solution and inoculated onto dishes. As follows, the growth of bacteria after 24 hours was checked. Petri dishes were incubated for 1 hour and 16-24 hours (overnight), as stated in the standard, and microbial growth was observed. Cut fabric samples taken from Erlenmeyer flask and incubated at 37°C 24 h on dishes.

## 3. Results

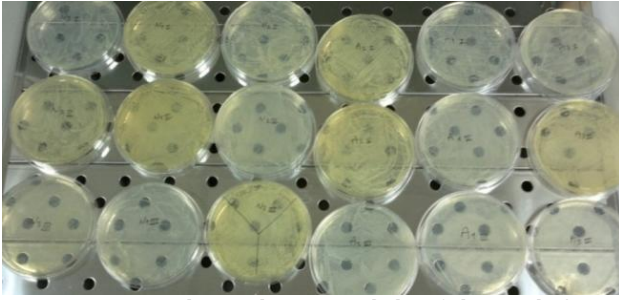
*E. coli* inoculated on the surface of fabrics those stitched with ordinary and antibacterial yarns, and bacterial growth on those fabrics observed and compared with each other. After, 1-hour incubation in a shaking incubator, there was no significant bacterial growth. After 24-hour incubation, bacterial population extremely increased and reached to uncountable amount; i.e. for the appearances of the overlock stitched samples after 1 hour and 24 hours incubation, see Figure 2.



**Figure 2.** Petri dishes inoculated with *E. coli* after 1 hour (left) and 24 hours (right) incubation.

There was bacterial growth on fabrics -with both ordinary and antibacterial stitch yarns-, but the growing population was higher in ordinary stitched clothes (Figure 3).





**Figure 3.** Bacterial growth on Petri dishes (Observed after 24 h incubation)

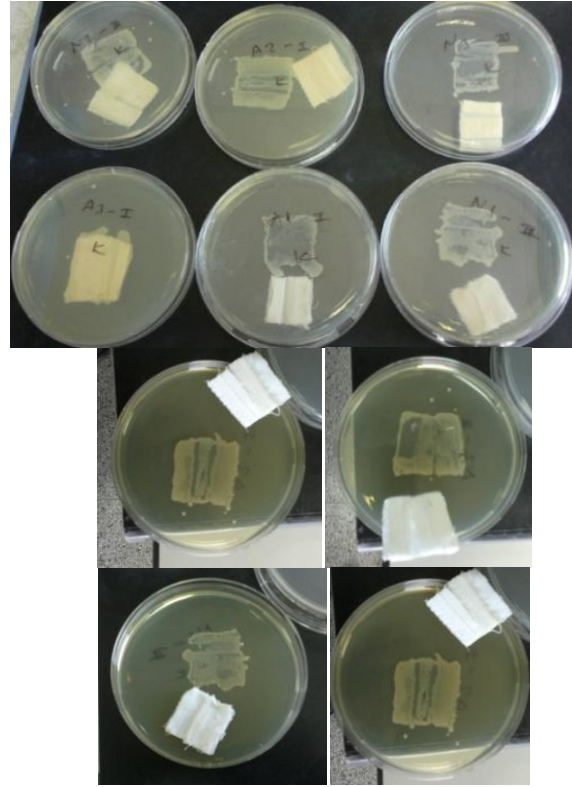
To detect the presence of bacterial colonies on surfaces, fabrics were removed out of flasks and placed on agar media. Microbial growth was observed on stitched square fabric samples. In antimicrobial effectiveness test in solid media, presence of zones (inhibitory area for microbial growth around antibacterial loaded disc/fabric) proves the inhibiting the effect of the antimicrobial stitches. According to results, no clear zones were observed around antibacterial stitch yarns. So, there is not any significant evidence showing the preventive effect of antibacterial stitches on microbial growth. Numbers of bacteria colonies were very dense and uncountable; as a result, any statement on the effectiveness of different stitch types on antibacterial activity could not be concluded. In all samples, bacterial growth was very high and uncountable. That's why; results did not compare in a mathematical way and did not present in tables or plots.

Stitch types affect growth the pattern of microorganisms on Petri dishes. The differences in growth appearance were sourced from the surface property of the fabrics (the pressure within fabric and stitches) and were not related with an antibacterial property of the stitch yarns, see Figure 4.

The growth of bacteria on fabric surfaces proved the suitability of textile surfaces for bacterial growth.

#### 4. Discussion and Conclusion

There are various studies on antibacterial textiles and products offered to the market, having a limited shelf life and antimicrobial effect. In this study, the effect of different stitch types used in cloth manufacture was investigated. Unlike other researches, this study was focused on cloth and yarn analyses. That's why; ASTM E 2149 method was modified for this study. It was confirmed that bacteria and active antibacterial component were effectively transferred into solution with shaking. Results of analyses proved the growth of *E. coli* on fabrics. The components of cloth structure; fabrics layer and the amount of yarn of the sewing types show the difference. The high amount of yarn and layers of the stitches in the fabric may create a suitable environment for the growth of



**Figure 4.** *E. coli* growth on 2x2 cut fabric samples.

bacteria. For this reason, it will be useful to determine the type of stitching that can provide the best hygiene with its structure and shape. Initially, it was aimed to compare stitch types in terms of their antibacterial activity, but in all samples, there was an excess amount of bacterial growth preventing microbial count. That's why any comparison or sorting did not apply between samples. As a result, it could be concluded that any significant difference was not observed in antibacterial properties of stitch types used in this study (within conditions/dilutions applied).

Excess microbial growth might be arising from the insufficient concentration of the active antibacterial components in yarns. Different from the standard method, the effect of stitches in ordinary fabrics was also investigated. It was concluded that bacterial growth might be sourced from a dilute concentration of the active antibacterial components (lower than standard amount) on stitches of fabric. Because the applied standard was about the detection of the antibacterial property of the fabrics. The standard used for the square cut fabric samples and, there is not a standard in literature for investigation of antibacterial activity of stitch yarns on fabrics. It is estimated that antibacterial components will effectively be transferred into solution with shaking and by the time would inhibit the growth of bacteria in buffered solution. Since the fabric samples -in all types of stitches- contain less amount of yarn on the fabric (compared to the target antibacterial fabrics of the standard method), it could be concluded that the amount of applied antibacterial component does not

allow evaluation of the antibacterial property. This unexpected result may be explained in long-term and more detailed next coming studies by advanced modified or with a novel experimental method. It is predicted that the level of antibacterial activities within stitch types would be sensitively differentiated with the newly adopted test methods.

Antibacterial stitches could be applied to fabrics during the preparation of samples. However, more detailed analyses need to be done to detect the effect of different stitch types.

### Acknowledgements

Thanks to IZTECH BIOMER (Izmir Institute of Technology, Biotechnology and Bioengineering Research and Application Centre) for their help in microbiological analyses.

### References

- [1] Mitchell A., Spencer M., Edmiston Jr. C., 2015. Journal of Hospital Infection, 90(2015), 285-292.
- [2] Katewaraphorn J., Aldred A. K., 2016. Int. Journal of Chemical Engineering and Applications, Vol. 7(2016), No. 1.
- [3] Colclasure V. J., Soderquist T. J., Lynch T., Schubert N., McCormick D S., Urrutia E., Knickerbocker C., McCord D., Kavouras J. H., 2015. American Journal of Infection Control 43(2015), 154-8.
- [4] Bajpaia V., Deyb A., Ghoshc S., Bajpaia S., Jhaa M.K., 2011. Int. Biodeterioration & Biodegradation 65 (2011), 1169 – 1174.
- [5] Jayapriya S., Bagyalakshmi G., 2013. Int. Journal of Textile and Fashion Technology (IJTFT) ISSN(P): 2250-2378; ISSN(E): 2319-4510 Vol. 4, Issue 1, 1-10.
- [6] Palamutcu S., Keskin R., Devrent N., Sengül M., Haşçelik B., 2009. Electronic Journal of Textile Technologies, 3(3) (2009), 95 – 108.
- [7] Geethadevi R. and Maheshwari V., 2013. J Textile Sci Eng, 4:1, (2013).
- [8] Venkataraman M., Mishra R., Subramaniam V., Gnanamani A., Subha T. S., 2014. Fibers and Polymers, Vol.15, No.3 (2014), 510 – 518.
- [9] M. Akaydın, M. Kalkancı, 2014. SDU Journal of Science (E-Journal), 9 (1): 20-34.
- [10] ASTM E2149-01 Standard Test Method for Determining the Antimicrobial Activity of Immobilized Antimicrobial Agents Under Dynamic Contact Conditions.
- [11] Anonymous, 2005. Merck Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamalar. Ed: A. K. Halkman. Başak Matbacılık Ltd. Şti., Ankara, 358 s.
- [12] Bauer, A.W., Kirby, W.M.M., Sherris, J.C. and Turck, M. Antibiotic susceptibility testing by standard single disc method. Am J. Clin Pathol 1966; 45: 493-496.

## A New Power Allocation Method with a Nonlinear Cost Constraint in Stratified Random Sampling

Sinem Tuğba ŞAHİN<sup>\*1</sup>, Cenker Burak METİN<sup>2</sup>, Yaprak Arzu ÖZDEMİR<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Teknikokullar, Ankara

<sup>1</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3544-8123>)

<sup>3</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3752-9744>)

<sup>2</sup>Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara

<sup>2</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5968-0261>)

(Alınış / Received: 08.05.2018, Kabul / Accepted: 18.12.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 12.03.2019)

### Keywords

Stratified random sampling, Neyman allocation, Optimum allocation, Non-linear cost function, Non-linear programming

**Abstract:** When the population is heterogeneous, stratified random sampling is generally preferred for estimation the population parameters. There are a lot of sample allocation methods in stratified random sampling. However, most of sample allocation methods ignore the selection cost or assume the selection cost as equal in all strata. Bankier also suggested a power allocation method without considering the cost function [1]. However, in real life applications, it is very rare to come across such cases. Therefore, it would be more realistic to take the cost into account for allocation procedures. In this study, a new power allocation method is proposed by taking into account a non-linear cost function constraint in Bankier's method. The Neyman allocation and square root allocation results are also obtained by using this new allocation method. The performance of the proposed method is examined for different model parameters and their different cases using data from 2012 Structural Business Survey of TURKSTAT.

## Tabakalı Tesadüfi Örneklemde Doğrusal Olmayan Maliyet Kısıtı Altında Yeni bir Güç Paylaştırma Yöntemi

### Anahtar Kelimeler

Tabakalı tesadüfi örnekleme, Neyman paylaşırma, Optimum paylaşırma, Doğrusal olmayan maliyet fonksiyonu, Doğrusal olmayan programlama

**Özet:** Yığın heterojen olduğunda, yığın parametrelerini tahmin etmek için genellikle tabakalı tesadüfi örnekleme tercih edilir. Tabakalı tesadüfi örneklemede çok sayıda örnek paylaşırma yöntemi bulunmaktadır. Bununla birlikte, örnek paylaşırma yöntemlerinin çoğu tabakalardan birim seçme maliyetini ihmal etmekte ya da bütün tabakalar için eşit varsaymaktadır. Bankier da maliyet fonksiyonunu göz önüne almayan bir güç paylaşırma yöntemi önermiştir [1]. Bununla birlikte uygulamalarda, maliyetin olmadığı durumlarla karşılaşmak yok denecek kadar azdır. Bu yüzden, paylaşırma işlemi için maliyeti göz önüne almak daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Bu çalışmada, Bankier'in modeline doğrusal olmayan maliyet kısıtını ekleyen yeni bir güç paylaşırma yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin performansı, farklı model parametreleri ve parametrelerin farklı durumları için 2012 TÜİK Yapısal İş İstatistikleri verisi kullanılarak incelenmiştir.

### 1. Introduction

The main aim of sampling methods is increasing the precision of the estimator using prior information about the population. In practice, there exist several sampling methods implemented for this purpose. It is possible to increase precision with stratified random sampling by constituting homogenous strata when the population is heterogeneous. Equal, proportional, optimum, and Neyman allocation methods are the most popular allocation methods in stratified sampling [2]. Typically, it is assumed that the cost of

the unit selection in each stratum is equal or so low that it can be ignored. A compromise among two or more allocation methods have been proposed especially for populations in which strata sizes and variances differ excessively. One of the most famous compromise strategies used in the design of several surveys is power allocation. Power allocation has been proposed by Carroll [3] and Felligi [4]. Bankier proposed a new power allocation method, which was derived from Neyman and equal allocation methods [1]. In this model, the selection cost for each stratum is assumed equal. Costa et al. proposed another

\* Corresponding author: [sinemsahin@gazi.edu.tr](mailto:sinemsahin@gazi.edu.tr)

allocation in which cost is ignored and equal and proportional allocation methods are used [5]. Longford studied an allocation method which minimizes both variance of the estimation of the strata means and variance of the estimation of the population mean [6]. Choudry et al. [7] compared the performance of their proposed allocation method with the Bankier, Costa et al., and Longford methods using real life data. Şahin Tekin et. al. [8] are proposed a new compromise allocation method with non-linear cost constraint using the model given by Costa et. al. [5].

In practice, a case of equal selection cost or ignorable cost in strata rarely occurs. For this reason, it would be more realistic approach to take the cost into consideration to determine the sample sizes of strata. Linear cost function in Eq.(1) is generally used if strata costs are taken into account.

$$t = t_0 + \sum_{h=1}^L t_h n_h \tag{1}$$

Here,  $t$  is defined as total cost for survey,  $t_0$  is fixed cost,  $t_h$  is selection cost for one unit from stratum  $h$ , and  $n_h$  is the sample size of the stratum  $h$  ( $h=1,2,\dots,L$ ). It is very easy to determine the sample size  $n_h$  when the cost function is linear as in Eq.(1). This function is appropriate when the selection cost for one unit from stratum  $h$  is not significantly different. However, the selection of one unit from stratum  $h$  may not result in one unit increase in the cost function. For instance, in a rural area survey study, after the cost of transportation is disbursed, more than one unit can be observed without an additional cost. In this case, the selection cost of one sampling unit from stratum  $h$  would result in less than one unit increase in the cost function. In contrary, the selection cost of one sampling unit in stratum  $h$  may also result in more than one unit increase in the cost function. In such cases, cost function is in a non-linear form. Cochran [2], Bretthauer et al. [9], and Chernyak [10] have defined the non-linear cost function as given below:

$$t = t_0 + \sum_{h=1}^L t_h n_h^\alpha \tag{2}$$

Here,  $\alpha$  indicates the effect on the cost function for the selection of one sampling unit from stratum  $h$ . If  $\alpha$  is smaller than 1, the selection of one sampling unit from the strata affects the cost function less than one unit and if  $\alpha$  is larger than 1, the selection of one sampling unit from the strata affects the cost function greater than one unit. Eqs.(1) and (2) have the same results when  $\alpha$  is equal to 1.  $\alpha$  is a positive value determined by the researcher. Since the selection cost of one unit differs between strata, it is suggested to use the cost function in Eq.(2).

In this study, a new power allocation model is proposed, which takes into account the non-linear cost function. This model using a non-linear cost constraint is a modified version of Bankier’s power allocation method. The proposed power allocation method is obtained and presented in Section 2. By applying the proposed model to 2012 Structural Business Survey (SBS) data of TURKSTAT, the results for different parameters and their different levels are discussed in Section 3. Finally, a summary concludes the paper in Section 4.

**2. A New Power Allocation Method**

Stratified random sampling is frequently used in surveys. Providing that target population is separated into  $L$  homogenous strata; for stratum  $h$ , stratum size, and weight as well as sample size selected in the strata are defined by  $N_h$ ,  $W_h=N_h/N$ , and  $n_h$  ( $h=1,2,\dots,L$ ), respectively. Population mean  $\bar{Y} = \sum_h W_h \bar{Y}_h$  is estimated via weighted sample mean  $\bar{y}_{st} = \sum_h W_h \bar{y}_h$ . In stratified random sampling, when the strata sizes are considerably different, standard allocation methods may lead to some problems. For instance, Neyman allocation minimizes the variance of  $\bar{y}_{st}$  under the constraint of  $n = \sum_h n_h$ . However, it may cause some strata estimators to have large coefficient of variations ( $CV(\bar{y}_h) = C_h / \sqrt{n_h}$ ). On the other hand, equal allocation ( $n_h=n/L$ ) is efficient for the estimation of strata means. Nevertheless, its  $CV$  is larger than Neyman allocation for  $\bar{y}_{st}$  estimator.

Bankier proposed a power allocation method utilizing Neyman and equal allocation methods [1]. Let  $C_h = S_h / \bar{Y}_h$  be the coefficient of variation of  $h^{th}$  stratum. The loss function,

$$F = \sum_h \{X_h^q CV(\bar{y}_h)\}^2 \tag{3}$$

is minimized subject to the constraint  $n = \sum_{h=1}^L n_h$  and Bankier’s power allocation method is given below:

$$n_h^B = \frac{C_h X_h^q}{\sum_h C_h X_h^q} n, \quad h = 1, 2, \dots, L \tag{4}$$

Here,  $q$  is a constant in the range of  $0 \leq q \leq 1$  as determined by the researcher,  $X_h$  is some measure of size or importance of stratum  $h$ . As seen in Eq.(4), Bankier’s power allocation does not take the cost into account. Therefore, the new power allocation method is obtained by minimizing the loss function in Eq.(3) with

$$t = t_0 + \sum_{i=1}^L t_i n_i^\alpha \tag{constraint.}$$

**Theorem:** In stratified random sampling with the non-linear cost function  $t = t_0 + \sum_{i=1}^L t_h n_h^\alpha$ ,  $\alpha \geq 0$ , the loss function given in Eq.(4) is minimum for a specified cost  $t$  when

$$n_h = \frac{\left(X_h^{2q} C_h^2 / t_h\right)^{\frac{1}{\alpha+1}}}{\sum_h \left(X_h^{2q} C_h^2 / t_h\right)^{\frac{1}{\alpha+1}}} n \quad (5)$$

**Proof:**

$$\min \{F\} = \min \left\{ \sum_h \left\{ X_h^q CV(\bar{y}_h) \right\}^2 \right\}$$

with respect to  $F$  subject to

$$t = t_0 + \sum_{i=1}^L t_h n_h^\alpha$$

Take  $\lambda$  as the Lagrangian multiplier and minimize

$$L = \left\{ \sum_h \left\{ X_h^q \frac{C_h}{\sqrt{n_h}} \right\}^2 \right\} + \lambda \left( \sum_h t_h n_h^\alpha - T \right)$$

for chosen  $n_h$ .

Hence, to minimize the loss function  $F$  for fixed  $t$ , we have

$$\lambda \alpha t_h n_h^{\alpha+1} = X_h^{2q} C_h^2$$

and

$$n_h = \left( \frac{X_h^{2q} C_h^2}{\lambda \alpha t_h} \right)^{\frac{1}{\alpha+1}}$$

$$n = \sum_{h=1}^L n_h = \sum_{h=1}^L \left( \frac{X_h^{2q} C_h^2}{\lambda \alpha t_h} \right)^{\frac{1}{\alpha+1}}$$

$$n = \frac{1}{\frac{1}{\lambda^{\alpha+1}} \frac{1}{\alpha^{\alpha+1}}} \sum_{h=1}^L \left( X_h^{2q} C_h^2 / t_h \right)^{\frac{1}{\alpha+1}}$$

dividing  $n_h$  by  $n$ , we obtain Eq.(5).

The new power allocation model in Eq.(5) is a modification of Bankier's power allocation method since it utilizes a non-linear cost constraint. When  $\alpha=1$ , the cost function in Eq.(2) would be in linear form. If  $q=1$ ,  $\alpha=1$ , and  $X_h = N_h \bar{Y}_h$ , then Eq.(5) turns into the optimum allocation method.

$$n_h = \frac{N_h S_h / \sqrt{t_h}}{\sum_h N_h S_h / \sqrt{t_h}} n \quad (6)$$

If  $q=0$ ,  $\alpha=1$ , and  $C_h=C$  for each stratum, then Eq.(5) turns into the square root allocation method as shown below:

$$n_h = \frac{1/\sqrt{t_h}}{\sum_h 1/\sqrt{t_h}} n \quad (7)$$

### 3. Real Data Example

In this section, we discuss how the proposed allocation model works for sample size allocation. Moreover, the performance of the model was analyzed for different cases. For this purpose, a subset of 2012 SBS data were used. For analyzing the performance of the proposed model, pre-defined strata and population values of some parameters were needed. Therefore, enterprises in manufacturing sector with more than 20 employees from SBS were included as enumeration. By this way, we assumed this part as population and defined the size groups as strata. Turnover of these enterprises specified as target variable ( $Y$ ) and used in the analysis. Strata sizes ( $N_h$ ), strata population means ( $\bar{Y}_h$ ), strata standard deviations ( $S_h$ ), and strata  $CV_s$  ( $C_h$ ) are given in Table 1 for five size groups. Besides, in Table 1, each size group indicates each stratum. For the proposed model implementation, cost function  $t_h$  values were needed. However, they are not included in 2012 SBS. Therefore,  $t_h$  values were produced hypothetically.

**Table 1.** Population values for SBS

Size Groups	$N_h$	$\bar{Y}_h$	$S_h$	$C_h$	$t_h$
20-49	17427	5,510,399	10,200,503	1.85	0.96
50-99	4752	14,836,096	48,390,547	3.26	0.30
100-249	3315	36,550,161	55,473,303	1.52	1.21
250-499	986	99,548,400	116,525,154	1.17	0.98
500-999	371	253,470,468	359,408,319	1.42	0.94
Turkey	26851				

The proposed model in Eq.(5) allocates the pre-determined sample size  $n$  to strata. By the help of this model, it would be possible to estimate average turnover for both Turkey and specified strata levels approaching to target  $CV(\bar{y}_{st})$  and  $CV(\bar{y}_h)$  values. Since  $t_h$  values are taken into consideration, we can make efficient estimations as far as cost function permitted. The Non-Linear Programming (NLP) model, proposed by Choudry et al. [7], was used to decide the sample size. This model is given in Eq.(8).

$$f : \min \left\{ \sum_{h=1}^L n_h \right\} \quad (8)$$

with respect to  $f$  subject to

$$CV(\bar{y}_h) \leq CV_{oh}$$

$$CV(\bar{y}_{st}) = \frac{\sqrt{V(\bar{y}_{st})}}{\bar{Y}} \leq CV_o \quad 1 \leq n_h \leq N_h,$$

$$h = 1, 2, \dots, L.$$

Using Eq.(8) and 2012 SBS parameter values in Table 1, we obtain the model in Eq.(9), which determines the sample size. For the proposed model allocation, our target values for CVs were specified as  $CV(\bar{y}_h) \leq 0.15$  for the strata means  $\bar{y}_h$  and  $CV(\bar{y}_{st}) \leq 0.06$  for the weighted sample mean  $\bar{y}_{st}$ . As a result of Eq.(8), the following was obtained:

$$\min\{n\} = \min\{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5\} \quad (9)$$

$$n_1 \geq 150.96, n_2 \geq 430.72, n_3 \geq 99.31,$$

$$n_4 \geq 57.32, n_5 \geq 72.07$$

$$\frac{0.1372}{n_1} + \frac{0.2296}{n_2} + \frac{0.1468}{n_3} + \frac{0.0573}{n_4} + \frac{0.0772}{n_5} \leq 0.00397$$

$$1 \leq n_1 \leq 17427, 1 \leq n_2 \leq 4752, 1 \leq n_3 \leq 3315,$$

$$1 \leq n_4 \leq 986, 1 \leq n_5 \leq 371.$$

Minimum sample size  $n=902$  was obtained using the NLP allocation satisfying the specified CV values. This sample size calculated by iterative methods using MATLAB 2017a. Using the proposed allocation model, overall sample size  $n=902$  was allocated to strata, and then  $CV(\bar{y}_h)$ ,  $CV(\bar{y}_{st})$  values were evaluated. The new allocation method was analyzed whether  $CV(\bar{y}_h)$  and  $CV(\bar{y}_{st})$  indicators provide the target values. For the analysis, some combination of  $\alpha$  and  $q$  variables were used as follows:

$$q=0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1 \text{ and } \alpha=0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 2$$

where  $0 \leq q \leq 1$  and  $\alpha \geq 0$ . Results are given in Tables 2-8.

Tables 2-8 in Appendix A.

When  $q = 0$ , strata size ( $N_h, h = 1, 2, \dots, 5$ ), and strata mean ( $\bar{Y}_h, h = 1, 2, \dots, 5$ ) have no effect on the determination of the sample size. For this reason, the coefficient of variation ( $C_h, h = 1, 2, \dots, 5$ ) and costs of strata ( $t_h, h = 1, 2, \dots, 5$ ) are important factors on sample size calculation. However, the coefficient of

variation ( $C_h$ ) is more effective than strata costs ( $t_h$ ). As seen in Table 2, when  $\alpha = 0$ , the maximum sample size is obtained from the 2<sup>nd</sup> stratum with the largest  $C_h$ , and the minimum sample size appears in the 4<sup>th</sup> stratum with the smallest  $C_h$ . However, as  $\alpha$  increases, the sample size of the 2<sup>nd</sup> stratum decreases and the sizes of other strata increase. In other words, the sample size differences between strata reduce. As  $\alpha$  increases, the target value for the population, which is  $CV(\bar{y}_{st}) \leq 0.06$ , would be ensured. Besides that, when  $\alpha \leq 0.75$ , target values for strata  $CV(\bar{y}_h) \leq 0.15$  are not ensured for the strata with  $C_h$  values closer with each other. For the 2<sup>nd</sup> stratum, all cases provide the target values except  $\alpha = 2$ . As seen in Table 2, all target values are ensured for  $1 \leq \alpha \leq 1.5$

As  $q$  increases, strata sizes and strata means also affect the sample sizes. As  $q$  increases, a more proper allocation giving more weight to the size of strata and mean of strata would be attained. For the same  $\alpha$  value, all  $CV(\bar{y}_h)$  values of the strata decrease, except the 2<sup>nd</sup> stratum, and approach the target value 0.15 as  $q$  increases. For example, in Table 3, while  $q = 0.2$  and  $\alpha = 0.25$ ,  $CV(\bar{y}_h)$  is 0.18, and, in Table 6, while  $q = 0.6$  and  $\alpha = 0.25$ ,  $CV(\bar{y}_h)$  is 0.15 for the 3<sup>rd</sup> stratum. Thus, for the same  $\alpha$  value,  $CV(\bar{y}_h)$  values reduce as  $q$  increases in all strata other than the 2<sup>nd</sup> stratum, which belongs to the largest  $C_h$ . Furthermore, as  $q$  increases,  $CV(\bar{y}_{st})$  values reduce for the same  $\alpha$  value. Besides, as  $q$  increases, the range between strata sample sizes decrease for the same  $\alpha$  value.

For fixed  $q$ , as  $\alpha$  increases,  $CV(\bar{y}_h)$  values reduce in all strata except for the 2<sup>nd</sup> stratum. For example, in Table 3.5, while  $q = 0.5$  and  $\alpha = 0$ , the target value is  $CV(\bar{y}_h) = 0.19$ , and while  $q = 0.5$  and  $\alpha = 0.75$ , the target value is  $CV(\bar{y}_h) = 0.12$  for the 4<sup>th</sup> stratum. Moreover, as  $\alpha$  increases,  $CV(\bar{y}_{st})$  values decrease and provide the target value.

As seen in the results provided in Tables 2-8, for  $0.75 \leq \alpha \leq 1$ , all values of  $q$  provide the target value  $CV(\bar{y}_{st}) \leq 0.06$ . Moreover, the target value for strata  $CV(\bar{y}_h) \leq 0.15$  is also provided for all cases except for some cases of the 2<sup>nd</sup> stratum. As the coefficient of variation for the 2<sup>nd</sup> stratum is greater than other strata, we obtain different results for this stratum compared to the others.

#### 4. Discussion and Conclusion

Coefficients of variations (CV) for target variables are used as quality indicators regarding accuracy and

reliability in most of the EU commission regulations about quality of statistics. For this reason, satisfying the specified  $CV$  values becomes an important issue. Traditional allocation methods in stratified random sampling have some difficulties to cover the needs related to  $CV$ , especially for official statistics. Bankier [1], Costa et al. [5], and Longford [6] have proposed some compromise models that can be used to overcome these difficulties. Choudry et al. [7] utilized non-linear programming in satisfying specified reliability requirements. However, none of these models used the cost function. Therefore, a new allocation model is proposed in the present study satisfying the specified  $CV$  values which takes into account the non-linear cost function.

In this newly proposed model, as  $q$  value increases for the same  $\alpha$  value,  $CV(\bar{y}_h)$  and  $CV(\bar{y}_{st})$  decrease and then approach to target values when strata coefficient of variation values are close to each other. For fixed  $q$ , as  $\alpha$  value increases,  $CV(\bar{y}_h)$  and  $CV(\bar{y}_{st})$  indicators decrease and then approach to target values. For fixed  $\alpha$ , as  $q$  value increases, the survey cost decreases. For the same  $q$  value, the survey cost increases as  $\alpha$  increases.

According to the results of the application data, when a  $C_h$  of stratum is substantially larger than others, for the same  $\alpha$  value,  $CV(\bar{y}_h)$  increases as  $q$  increases. For fixed  $q$ ,  $CV(\bar{y}_h)$  also increases as  $\alpha$  increases. As seen in the results, the most important advantage of this model is the flexibility of the researchers in assigning the  $\alpha$  and  $q$  values based on their needs. Besides, when  $C_h$  values are closer with each other, the proposed model is effective in ensuring the target values. Proposed model make more productive the survey studies compared to classical allocation methods not using the cost function, since it handles the allocation issue in more realistic way by using the cost. This model can also be improved for multivariate stratified random sampling.

## References

- [1] Bankier M. 1988. Power Allocation: Determining Sample Sizes for Sub-national Areas. *The American Statistician*, 42, 174-177.
- [2] Cochran W. G. 1977. *Sampling Techniques*. John Wiley and Sons, 428s.
- [3] Carroll J. 1970. Allocation of a Sample Between States. Unpublished memorandum, Australian Bureau of Census and Statistics.
- [4] Felligi I. P. 1981. Should be Census Counts be Adjusted for Allocation Purposes? -Equity Considerations. In *Current Topics in Survey Sampling*, eds. D. Krewski, R. Platek, and J.N.K. Rao, New York: Academic Press, pp. 47-76.
- [5] Costa A, Satorra A. & Venture E. 2004. Improving both Domain and Total Area Estimation by Composition. *SORT*, 28, 69-8.
- [6] Longford N. T. 2006. Sample Size Calculation for Small-area Estimation. *Survey Methodology*, 32, 87-966.
- [7] Choudry G. H., Rao J.N.K. & Hidiroglou M. A. 2012. On Sample Allocation for Efficient Domain Estimation. *Survey Methodology*, 38(1):23-29.
- [8] Şahin Tekin T. S., Özdemir Y. A. & Metin C. B. 2017. A New Compromise Allocation Method in Stratified Random Sampling. *Gazi University Journal of Science*, 30(3): 181-194.
- [9] Bretthauer K. M., Ross A. & Shetty B. 1999. Nonlinear Integer Programming for Optimal Allocation in Stratified Sampling. *European Journal of Operational Research*, 116:667-680.
- [10] Chernyak A. 2001. Optimal Allocation in Stratified and Double Random Sampling with a Nonlinear Cost Function. *Journal of Mathematical Sciences*, 103(4): 525-528.

Appendices

Appendix A. Tables 2-8.

Table 2.  $n_h$ ,  $CV(\bar{y}_h)$ , and,  $CV(\bar{y}_{st})$  values for  $q = 0$

$q = 0$	$\alpha = 0$		$\alpha = 0.25$		$\alpha = 0.5$		$\alpha = 0.75$		$\alpha = 1$		$\alpha = 1.25$		$\alpha = 1.5$		$\alpha = 2$	
	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$
1	72	0.21	100	0.18	120	0.16	134	0.15	144	0.15	151	0.15	156	0.14	163	0.14
2	719	0.11	628	0.12	554	0.13	497	0.13	453	0.14	418	0.15	391	0.15	350	0.16
3	39	0.24	60	0.19	79	0.16	93	0.15	105	0.14	114	0.13	121	0.13	132	0.12
4	28	0.21	47	0.16	64	0.14	78	0.12	90	0.11	99	0.11	107	0.10	119	0.10
5	43	0.20	66	0.15	85	0.13	100	0.12	111	0.11	120	0.10	127	0.10	137	0.09
$CV(\bar{y}_{st})$	901	0.09	901	0.09	902	0.07	902	0.06	903	0.06	902	0.06	902	0.058	901	0.057

Table 3.  $n_h$ ,  $CV(\bar{y}_h)$ , and,  $CV(\bar{y}_{st})$  values for  $q = 0.2$

$q = 0.2$	$\alpha = 0$		$\alpha = 0.25$		$\alpha = 0.5$		$\alpha = 0.75$		$\alpha = 1$		$\alpha = 1.25$		$\alpha = 1.5$		$\alpha = 2$	
	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$
1	79	0.20	106	0.17	125	0.16	138	0.15	147	0.15	154	0.14	158	0.14	165	0.14
2	697	0.11	605	0.12	533	0.13	478	0.14	436	0.14	404	0.15	378	0.16	340	0.17
3	46	0.22	69	0.18	88	0.15	102	0.14	113	0.14	121	0.13	128	0.13	138	0.12
4	31	0.20	51	0.15	67	0.13	81	0.12	93	0.11	102	0.10	109	0.10	121	0.09
5	47	0.19	70	0.15	89	0.13	103	0.11	113	0.11	122	0.10	129	0.10	139	0.09
$CV(\bar{y}_{st})$	900	0.091	901	0.075	902	0.067	902	0.06	902	0.060	903	0.059	902	0.058	903	0.056



**Table 4.**  $n_h$ ,  $CV(\bar{y}_h)$ , and,  $CV(\bar{y}_{st})$  values for  $q = 0.4$

$q = 0.4$	$\alpha = 0$		$\alpha = 0.25$		$\alpha = 0.5$		$\alpha = 0.75$		$\alpha = 1$		$\alpha = 1.25$		$\alpha = 1.5$		$\alpha = 2$	
	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$
1	87	0.19	113	0.17	131	0.16	142	0.15	151	0.15	157	0.14	161	0.14	167	0.14
2	674	0.11	582	0.12	512	0.13	459	0.14	420	0.15	389	0.15	365	0.16	330	0.17
3	56	0.20	79	0.16	97	0.15	111	0.14	121	0.13	129	0.13	135	0.12	144	0.12
4	35	0.19	54	0.15	71	0.13	84	0.12	95	0.11	104	0.10	111	0.10	123	0.09
5	51	0.18	74	0.14	92	0.12	105	0.11	116	0.10	124	0.10	130	0.10	140	0.09
$CV(\bar{y}_{st})$	903	0.085	902	0.072	903	0.065	901	0.061	903	0.059	903	0.058	902	0.057	904	0.056

**Table 5.**  $n_h$ ,  $CV(\bar{y}_h)$ , and,  $CV(\bar{y}_{st})$  values for  $q = 0.5$

$q = 0.5$	$\alpha = 0$		$\alpha = 0.25$		$\alpha = 0.5$		$\alpha = 0.75$		$\alpha = 1$		$\alpha = 1.25$		$\alpha = 1.5$		$\alpha = 2$	
	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$
1	91	0.19	116	0.17	133	0.15	145	0.15	152	0.14	158	0.14	162	0.14	167	0.14
2	661	0.11	569	0.12	501	0.13	450	0.14	412	0.15	382	0.16	359	0.16	325	0.17
3	61	0.19	85	0.16	102	0.14	115	0.13	125	0.13	132	0.12	138	0.12	147	0.12
4	36	0.19	56	0.15	72	0.13	86	0.12	96	0.11	105	0.10	112	0.10	123	0.09
5	53	0.18	76	0.14	93	0.12	107	0.11	117	0.10	125	0.10	131	0.09	140	0.09
$CV(\bar{y}_{st})$	902	0.083	902	0.070	901	0.064	903	0.061	902	0.059	902	0.058	902	0.057	902	0.056

**Table 6.**  $n_h$ ,  $CV(\bar{y}_h)$ , and  $CV(\bar{y}_{st})$  values for  $q = 0.6$

$q = 0.6$	$\alpha = 0$		$\alpha = 0.25$		$\alpha = 0.5$		$\alpha = 0.75$		$\alpha = 1$		$\alpha = 1.25$		$\alpha = 1.5$		$\alpha = 2$	
	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$
Stratum																
1	94	0.19	119	0.16	136	0.15	147	0.15	154	0.14	159	0.14	163	0.14	168	0.14
2	648	0.11	557	0.12	490	0.13	440	0.14	403	0.15	375	0.16	352	0.16	319	0.17
3	67	0.18	90	0.15	108	0.14	120	0.13	129	0.13	136	0.12	142	0.12	150	0.12
4	38	0.18	58	0.14	74	0.13	87	0.11	98	0.11	106	0.10	113	0.10	124	0.09
5	55	0.17	78	0.14	95	0.12	108	0.11	118	0.10	125	0.10	132	0.09	141	0.09
$CV(\bar{y}_{st})$	902	0.08	902	0.069	903	0.064	902	0.06	902	0.058	901	0.057	902	0.057	902	0.056

**Table 7.**  $n_h$ ,  $CV(\bar{y}_h)$ , and  $CV(\bar{y}_{st})$  values for  $q = 0.8$

$q = 0.8$	$\alpha = 0$		$\alpha = 0.25$		$\alpha = 0.5$		$\alpha = 0.75$		$\alpha = 1$		$\alpha = 1.25$		$\alpha = 1.5$		$\alpha = 2$	
	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$
Stratum																
1	102	0.18	126	0.16	141	0.15	151	0.15	157	0.14	162	0.14	165	0.14	170	0.14
2	620	0.12	531	0.13	468	0.14	421	0.15	387	0.15	360	0.16	340	0.17	309	0.17
3	79	0.16	102	0.14	119	0.13	130	0.13	138	0.12	144	0.12	149	0.12	156	0.11
4	41	0.17	61	0.14	77	0.12	90	0.11	100	0.11	108	0.10	115	0.10	126	0.09
5	59	0.16	81	0.13	98	0.12	110	0.11	120	0.10	127	0.10	133	0.09	141	0.09
$CV(\bar{y}_{st})$	901	0.076	901	0.066	903	0.062	902	0.059	902	0.058	901	0.057	902	0.056	902	0.055

**Table 8.**  $n_h$ ,  $CV(\bar{y}_h)$ , and  $CV(\bar{y}_{st})$  values for  $q = 1$

$q = 1$	$\alpha = 0$		$\alpha = 0.25$		$\alpha = 0.5$		$\alpha = 0.75$		$\alpha = 1$		$\alpha = 1.25$		$\alpha = 1.5$		$\alpha = 2$	
	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$	$n_h$	$CV(\bar{y}_h)$
1	110	0.17	132	0.16	145	0.15	154	0.14	160	0.14	164	0.14	167	0.14	171	0.14
2	590	0.12	505	0.13	445	0.14	402	0.15	371	0.16	346	0.16	327	0.17	299	0.18
3	94	0.15	116	0.13	130	0.13	140	0.12	148	0.12	153	0.11	157	0.11	162	0.11
4	45	0.17	65	0.14	80	0.12	93	0.11	102	0.10	110	0.10	117	0.10	127	0.09
5	63	0.16	85	0.13	101	0.12	112	0.11	121	0.10	128	0.10	134	0.09	142	0.09
$CV(\bar{y}_{st})$	902	0.073	903	0.064	901	0.060	901	0.058	902	0.057	901	0.056	902	0.056	901	0.055

## Mermer Ocaklarında Kullanılan Zincirli Kesme Makinelerinin Performansının Araştırılması

Muhammed Ali ÇALIŞKAN<sup>\*1</sup>, Hüseyin YAVUZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mardin Özel Harekât Şube Müdürlüğü, 47200, Mardin

<sup>1</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8467-9660>)

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

<sup>2</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2728-7374>)

(Alınış / Received: 17.05.2018, Kabul / Accepted: 20.12.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 12.03.2019)

### Anahtar Kelimeler

Mermer blok üretimi,  
Zincirli kesici,  
Kesim parametreleri,  
Kesim performansı

**Özet:** Bu çalışmada, mermer ocaklarında blok üretimi amacıyla kullanılan zincirli kollar kesme makinelerinin kesim performansları araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle dört farklı ocakta kullanılan kollar kesme makinelerinin özellikleri, kesicilerin tipi ve keski düzeni incelenmiştir. Her bir ocakta kesimde zincir dönüş hızı ve makine yürüyüş hızı gibi parametreler değiştirilerek birim zamanda kesilen yüzey alanları ölçülmüştür. Makinenin kesim hızı, zincir hızı, keski seti uzunluğu ve kol kesme açısı gibi parametrelere bağlı olarak keski seti kesme derinliği hesaplanmıştır. Kesim parametrelerinin kesim performansına etkisini incelemek amacıyla, kesim sonrasında çıkan pasadan toz numuneler alınarak elek analizleri yapılmış ve pasa irilik indeksleri belirlenmiştir. Ayrıca çalışma yapılan doğaltaşların laboratuvarda bazı fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, 4 farklı ocakta kullanılan zincirli kesicilerin verimli çalışması için optimum çalışma parametreleri önerilmiştir.

## Investigation of the Performance of Chain Saws Used in Marble Quarries

### Keywords

Marble block production,  
Chain saw,  
Cutting parameters,  
Cutting performance

**Abstract:** In this study, the cutting performance of the chain saw machines used for block production in marble quarries was investigated. For this purpose, firstly, the specifications of the chain saw machines used in the four different quarries, type, and sequence of cutting tools are examined. In each quarry, the areal cutting rates were measured by changing the parameters such as arm pressure and chain speed during the cutting. Cutting depth of cutting tool sequence is calculated according to parameters such as machine cutting speed, chain speed, length of cutting tool sequence and angle of cutting arm. In order to investigate the effect of cutting parameters on cutting performance, sieve analyzes were carried out by taking dust samples from each cut pile and grain size indexes were determined. In addition, some physical and mechanical properties of natural stones were determined in the laboratory. As a result of this study, optimum working parameters are proposed for the efficient operation of chain sawing machines used in 4 different quarries.

### 1. Giriş

Mermer ocak işletmeciliği, uygarlık dönemlerinin ilk tarihlerinde başlamış, temel prensipleri değişmemekle beraber, yüksek üretim kapasitelerini sağlayan mekanizasyonun bu alana gelmesiyle günümüzdeki şeklini almıştır. Mermer ocaklarında kullanılan başlıca üretim yöntemleri; oluk-kanal açma, delik delme-üçlü kama, helezon tel kesme, elmas tel kesme, zincirli kesicilerle kesme, elmas disk kesicilerle kesme, termal şok (rock jet), basınçlı su

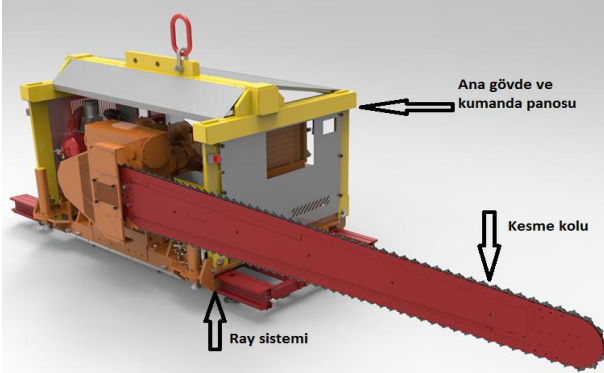
(water jet), lazer ışınları ile kesme ve karma üretim yöntemleridir. Tüm ocaklar günün teknolojik koşullarına göre tel kesme yöntemini kullanırken uygun özellik taşıyan ocaklarda da zincirli kollar kesicilerle blok üretimi yapılmaktadır [1].

Zincirli kesme makineleri düşük veya orta dereceli aşındırıcı olan mermer ve traverten gibi yumuşak ve orta sert doğal taşların, hem açık ocaklarda hem de yeraltı ocaklarında blok olarak çıkarılmasında ve sayalama amacı ile düşey veya yatay kesim yapmada

\*İlgili yazar: [muhammedalicaliskan@gmail.com](mailto:muhammedalicaliskan@gmail.com)

kullanılabilmektedir [1]. Zincirli kesme makinesi ana üniteleri Şekil 1'de verilmiştir.

Zincir dönüşü ve araba hareketi, bir elektrik motoru ile tahrik edilen 2 ayrı hidrolik motor vasıtasıyla sağlanır. Sistem üç ana üniteden oluşmaktadır: Kol/bıçak, ray sistemi ve ana gövde ve kumanda panosu. Ana gövde ray üzerinde hareket ederken kol ve üzerindeki kama tipi keskiiler yardımıyla kesme işlemi gerçekleştirilir. Kol uzunlukları 9 m'ye kadar olabilmektedir. Kolun kesme dilim kalınlığı üretici firmaya bağlı olarak 42 mm (en yaygın) veya 38 mm olabilmektedir [1].



Şekil 1. Zincirli kesme makinesi ana üniteleri [2].

Zincirli kesme makinelerinin avantajları:

- Özellikle 6-7 m'den yüksek basamaklarda elmas boncuklu tel kesme makineleri ile birlikte kullanıldıklarında, tel geçirmek için gereken delik sayısını azaltarak zamandan ve işçilikten tasarruf sağlar. Diğer bir deyişle, delik çakıştırma problemini ortadan kaldırır.
- Yeni bir basamağa yatay veya düşey olarak kolaylıkla giriş yapabildikleri ve üçgen parça kesme işlemini ortadan kaldırdıkları için üretim ve zaman kayıplarını azaltırlar.
- Doğrudan satılabilir ürün çıkarabilirler.
- Oldukça düzgün yüzeyler oluşturdukları için mükemmel çalışma ortamı oluştururlar.

Literatürde mermer ocaklarında kullanılan zincirli kollar kesme makineleriyle ilgili çok fazla çalışmaya rastlanılmamaktadır. Önenç ve Demirocak, yaptıkları çalışmada tabaka duruşlarına göre blok kesim yöntemlerini inceleyerek tabaka kalınlıkları fazla olmayan, mohs sertlik skalasına göre sertlikleri 3-4 arasında bulunan, albenisi fazla olan kayaların kesimlerinde zincirli kesiciyi kullanmanın iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir [3]. Çopur vd., yaptıkları çalışmada zincirli kesme makinelerinin düşük veya orta dereceli aşındırıcı olan mermer ve traverten gibi yumuşak ve orta sert doğal taşların, hem açık ocaklarda hem de yeraltı ocaklarında blok olarak çıkarılmasında ve sayalama amacı ile düşey

veya yatay kesim yaparak kullanılabileceklerini söylemişlerdir. Elmas boncuklu tel kesme makineleri ile birlikte kullanıldıklarında (bu yaygın kullanım şeklidir) ocak verimini artırdıklarını ve bir traverten açık ocağında kullanılan elmas boncuklu tel kesme makinelerinin yanına sadece bir adet zincirli kesme makinesi ilave edilerek, ocağın genel veriminin %20 arttığını açıklamışlardır [4]. Demirel vd., yaptıkları çalışmada yerli ve yeni imalat olan Kollu Zincirli Kesme makinesinin (DZK-3400), Denizli Kaklık/Kocabaş traverten ocaklarında deneme uygulama sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Doğaltaş ocak işletmelerinde blok üretim verimliliğinin artırılması ve blok üretim kalitesinin yükseltilmesine yönelik elmas tel kesme yöntemine alternatif olarak, kollu zincirli kesme makinesinin yeni bir yöntem olarak denemelerini gerçekleştirmişlerdir. Başta traverten ocakları olmak üzere tüm doğaltaş ocaklarında kullanımı ile birim zamanda daha az maliyetle daha fazla blok üretimi gerçekleştirmesini amaçlamışlardır [5]. Ayrıca mermer ocaklarında kollu zincirli kesme makinesinin uygulanabilirliğini elmas tel kesme makinesi ile karşılaştırarak açıklamışlardır [5].

Çopur vd., yaptıkları çalışmada, doğal taşların blok olarak kesilmesinde kullanılan zincirli kesme makinelerinin performanslarını etkileyen makine ve doğal taş parametrelerini incelemişlerdir. Bu makinelerin çeşitli doğal taşlarda daha verimli çalışabilmelerini sağlayacak verimli kesme prensiplerini ortaya koymuşlardır. Bu amaçla, ilk önce çeşitli doğal taş üretimi yapan ocaklara gidilmiş ve arazide jeolojik koşullar, zincirli kesme makinelerinin özellikleri ve çalışma (işletme) parametrelerini belirlemişler, kullanılan zincirli kesme makinelerinin performanslarını (kesme-kazı hızları) elektronik ortamda kaydetmişler, keski aşınma şekillerini incelemişler ve gözlem-ölçüm yapılan yerlerden blok numuneler almışlardır. Alınan blok numunelerini laboratuvarında bir seri deneye tabi tutmuşlardır. Doğrusal kazı deney setinde 0°, 15°, 30° ve 45° yanal açıları olan keskiiler çeşitli kesme koşullarında (kesme derinliği, keskiiler arası mesafe, vs) kesilerek, numunelerin kazılabilirliklerini (keski kuvvetleri, spesifik enerji, optimum kesme geometrisi) ortaya koymuşlardır. Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemeye yönelik olarak, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, shore scleroscope sertliği, Schmidt çekici sertliği, statik elastisite modülü, akustik deneyler (dinamik elastisite modülü ve poisson oranı), cerchar aşındırıcılık deneyleri ve ince kesitlerin petrografik analizlerini yapmışlardır. Deney sonuçlarını kullanarak, standart zincirli kesme makinelerinin çalışmasını simüle eden deterministik bir bilgisayar modeli geliştirmişlerdir. Modelin geçerliliğini sınamak için, modelleme sonuçlarını, yerinde yapılan performans kayıtları ile kıyaslamışlardır. Son olarak, kazılabilirliği ve performansı etkileyen en önemli doğal taş mekanik özelliklerini belirleyerek, makine performansları ve

laboratuvar kesme performansı ile bu parametreler arasında istatistiksel ilişkileri inceleyerek istatistiksel performans tahmin modellerini geliştirmişlerdir. Bu modellerin, zincirli kesme makinesi seçimi, tasarımı ve performans tahmininde, fizibilite/planlama aşamasında kullanılabileceğini açıklamışlardır [6].

Yeşilkaya vd., yaptıkları çalışmada Denizli havzasında Denizli Çimento Fabrikası çevresi -Kaklık dolaylarındaki-traverten ocaklarında, blok üretiminde kullanılan zincirli kollu kesme makinelerinin kesme performanslarını incelemişlerdir [7]. Saruışık yaptığı çalışmada zincirli kollu kesme makinesinin başta traverten ocakları olmak üzere tüm doğal taş ocaklarında kullanımı ile birim zamanda daha az maliyetle daha fazla blok üretimi gerçekleştirildiğini gözlemlemiştir. Traverten ocaklarında elmas tel kesme yöntemi ile blok verimliliği % 7-14 değerlerinde iken blok verimliliği Kollu Zincirli Kesme Makinesinin (DZK-3400) kullanımıyla % 65-80 değerlerine yükseldiğini hesaplamıştır [8].

Çopur vd., yaptıkları çalışmada zincirli kollu kesme makinesini kullanan doğaltaş ocaklarını ziyaret ederek doğaltaş örnekleri almış ve zincirli kollu kesme makinesi ile ilgili kayıtlar tutarak bu makinenin performansı ve makinenin kullanım koşullarını araştırmışlardır. Örneklerin fiziksel özelliklerini tanımladıktan sonra keski tipi kesici araçlarını kullanarak doğrusal kesim testleri yapmışlardır. Taşların kesilebilirliklerini belirlemek için farklı yan açılara sahip keski araçları ile kesme performansı arasındaki ilişkileri ve mekanik özellikleri araştırmışlardır [9].

Yeşilkaya vd., yaptıkları çalışmada Isparta-Senirkent civarındaki bir kireçtaşı (bej mermer) ocağında, blok üretiminde elmas tel kesme ile kombine olarak kullanılan zincirli kollu kesme makinelerinin çalışma hızları, uygulama koşulları, malzeme gereksinimleri ve kesme performanslarını incelemişlerdir [10].

Önceki araştırmalarda, zincirli kollu kesicilerle blok kesiminde kesici kol basıncı, makine yürüyüş hızı ve zincir dönüş hızı gibi makine çalışma parametrelerinin kesim performansına etkisi incelenmemiştir. Ocakta işletmeciler tarafından uygulanan makine parametrelerinde kesim hızları ölçülmüştür. Bu tez çalışmasında bu parametrelerin kesim performansına etkisi 4 farklı doğaltaş ocağında gerçekleştirilen ölçümlerle incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında inceleme, gözlem ve ölçümler yapmak için Antalya-Burdur-Denizli civarındaki iki bej, bir limra ve bir traverten ocağına numune temini için de mermer işleme fabrikalarına gidilmiştir. Saha çalışmalarında öncelikle şirket ve ocak ile ilgili genel bilgiler, ocakta çalışma düzeni ile ilgili bilgiler, ocakta

kullanılan zincirli kollu kesme makineleri ile ilgili bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu bilgiler toplandıktan sonra zincirli kollu kesme makinesi performans ve işletme parametreleri kayıtları tutulmuştur.

Makinelerin kullanım kılavuzları incelenerek ve teknik özellikleri araştırılarak makine üzerinde bulunan basınç göstergelerinden çalışılan basınç değerleri ve makine üzerinde bulunan zincir dönme hız göstergesinden zincir dönme hızı değerleri okunmuştur.

### 2.1. Çalışma yapılan doğaltaş ocakları

Tureks bej mermer ocağından 'Diana Royal' ve 'Cappuccino' adı verilen iki farklı seleksiyonda taş üretilmektedir. Ocağın görünür + muhtemel rezerv miktarı 80000000 m<sup>3</sup>'tür. 250 hektarlık alanın yaklaşık %75'i kireçtaşından oluşmaktadır. %25'lik kısımdan ise yan kayaç olarak alüvyonlar ve killi ofiyolitler çıkmaktadır. Ocakta çatlak sistemleri doğu-batı yönlerinde yer almaktadır. Çatlak eğimleri %70-%90 arasındadır. Ocakta su geliri yoktur. Ocakta yılda ortalama 25000 m<sup>3</sup> blok üretimi yapılmaktadır. Ortalama blok boyutları 4 m<sup>3</sup>- 8 m<sup>3</sup> arasında olmaktadır. Fabrika blok işleme kapasitesi ise 60000 m<sup>3</sup>/yıl'dır.

Tureks bej mermer ocağında blok üretiminde önce 10 cm çapında yatay sondaj delikleri delinerek 45-55 kw gücündeki elmas boncuklu tel kesme makineleri ile alt kesim yapılmaktadır. Daha sonra kademe üzerinde kademe boyunca değişen uzunluklarda Fantini 70 SUPER-H zincirli kollu kesici ile düşey kesim yapılmaktadır. Ocakta kesme yüksekliği yaklaşık 3,5 metredir. Kesme uzunluğu 20-40 metre arasındadır.

Adalya bej mermer ocağından 'Adonis' olarak adlandırılan taş üretilmektedir. Ocağın görünür rezerv miktarı 600000 m<sup>3</sup>'tür. 150 hektarlık alanın yaklaşık %90'ı kireçtaşından oluşmaktadır. %10'luk kısımdan ise yüzeye yakın kısımlarda kil çıkmaktadır. Ocakta çatlak sistemleri doğu-batı yönlerinde yer almaktadır. Çatlak eğimleri %70 - %90 arasındadır. Ocakta su geliri yoktur. Ocakta yılda ortalama 15000 ton blok üretimi yapılmaktadır. Ortalama blok boyutları 200 cm x 150 cm x 100 cm olmak üzere 2 m<sup>3</sup>-3 m<sup>3</sup> arasında olmaktadır. Fabrika blok işleme kapasitesi ise 7800 ton/yıl'dır.

Adalya bej mermer ocağında blok üretiminde önce 10 cm çapında yatay sondaj delikleri delinerek 45-55 kw gücündeki elmas boncuklu tel kesme makineleri ile alt kesim yapılmaktadır. Daha sonra kademe üzerinde kademe boyunca değişen uzunluklarda Fantini 70 SUPER-H zincirli kollu kesme makinesi ile düşey kesim yapılmaktadır. Kesme yüksekliği yaklaşık 7,2 metredir. Kesme uzunluğu 10-20 metre arasındadır.

**Tablo 1.** Ocaklarda kullanılan zincirli kollar kesme makinelerinin teknik özellikleri

	Tureks diana-royal bej	Adalya adonis bej	Demmer traverten	Natürelmar limra
Üretici Firma	FANTİNİ	FANTİNİ	DEMMAK	GARRONE
Model	70 SUPER-H	70 SUPER-H	DZK 3400	MCRH 740
Üretim Yılı	2012	2014	2013	2007
Ağırlık	10.000 kg	10.000 kg	9.000 kg	10.000 kg
Boyutlar	4160x2150x2380 mm	4160x2150x2380 mm	4160x2150x2380 mm	-
Toplam Kurulu Güç	63,87 kw	63,87 kw	45,97 kw	63 kw
Maksimum Kol Uzunluğu	4,90 metre	8,70 metre	4,30 metre	5,40 metre
Kol Dönüş Açışı	360°	360°	360°	360°
Maksimum Zincir Hızı	0,7 m/sn	0,7 m/sn	1,5 m/sn	1,8 m/sn
Maksimum Araba Hızı	15 cm/dak	15 cm/dak	18 cm/dak	20 cm/dak
Kesim Kalınlığı	40 mm	38 mm	40 mm	42 mm

Demmer Denizli-kaklık traverten ocağından yumuşak ve orta sert şeklinde olmak üzere iki farklı traverten üretilmektedir. Yumuşak travertenin yoğunluğu 2,15 g/cm<sup>3</sup> iken orta sert travertenin yoğunluğu 2,20 g/cm<sup>3</sup>'tür. Ocağın görünür +muhtemel rezerv miktarı 100000000 m<sup>3</sup>'tür. Oluşum tamamen kireçtaşıdır. Yüzeiden 30 metre tabana doğru pasa mevcuttur. Yer yer bazı kısımlarda fosiller çıkmaktadır. Ocağın bazı yerlerinde kırılmalar görülmektedir ve faylardan dolayı oluşan kırılmalar yüzeiden tabana doğru gitmektedir. Ayrıca ocağın bazı yerlerinde görülen faylarda yeşil renkte ince şeritler görülmektedir. Ocakta su geliri olmamaktadır. Ocakta yılda ortalama 50000 m<sup>3</sup> blok üretimi yapılmaktadır. Ortalama blok boyutları 3,5 m<sup>3</sup> - 4 m<sup>3</sup> arasında olmaktadır. Fabrika blok işleme kapasitesi yalnızca denizli traverten için 10000 m<sup>3</sup>/yıl'dır. Demmer Denizli-kaklık traverten ocağında blok üretiminde önce kademe boyunca Demmak DZK 3400 zincirli kollar kesme makinesi ile düşey kesim yapılmaktadır.

Zincirli kollar kesme makinesi kademe üzerinde ilerledikçe kademe altından 10 cm çapında yatay sondaj delikleri delinerek 20 - 25 kw gücündeki elmas boncuklu tel kesme makineleri ile düşey kesimler yapılmaktadır. Kesme yüksekliği yaklaşık 3,8 metredir. Kesme uzunluğu 80-90 metre arasındadır. Zincirli kollar kesme makinesinin kol uzunluğu dişli dâhil 4,30 metredir.

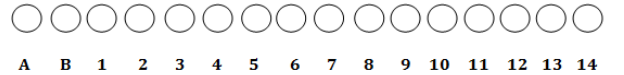
Natürelmar limra ocağından 'Anatolion Aritto', 'Myra' ve 'Parla Bianca' olarak adlandırılan 3 farklı seleksiyonda taş üretilmektedir. Ocağın görünür rezerv miktarı 5000000 ton'dur. Ocakta üretilen taş kireçtaşı oluşumudur. Yapı sadece ana kayadır yani limradır ancak yüzeye yakın kesimlerde fosilli dolomitik yapı görülmektedir. Ocakta çatlak sistemleri kademelere dik ve güneydoğu-kuzeybatı istikametindedirler. Ocakta su geliri yoktur. Ocakta yılda ortalama yaklaşık 100000 ton blok üretimi yapılmaktadır. Ocak verimi yaklaşık olarak % 60'dır.

Ortalama blok boyutları 200 cm x 160 cm x 150 cm olmak üzere 4 m<sup>3</sup> - 5 m<sup>3</sup> arasında olmaktadır. Fabrika blok işleme kapasitesi ise yılda 48000 ton'dur.

Natürelmar limra ocağında alt kesimler Garrone MCRH 740 zincirli kollar kesici ile yatay olarak yapılmaktadır. Kesme genişliği yaklaşık 3,30 metredir. Kesme uzunluğu 20-40 metre arasındadır. Ocaklarda kullanılan zincirli kollar kesme makinelerinin teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Doğaltaş ocaklarında kullanılan zincirli kollar kesme makinesi keski grubundaki keski dizilimleri Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir.

PCD PCD PCD PCD PCD PCD PCD PCD PCD PCD PCD PCD PCD PCD PCD



**Şekil 2.** Tureks bej mermer ocağında kullanılan Fantini 70 SUPER-H zincirli kollar kesme makinesi keski grubundaki pcd keskilerin dizilimi

PCD Kare Yıldız Yıldız Yıldız Yıldız Kare Yıldız Yıldız Yıldız Yıldız Çiftli Yıldız Çiftli Kare

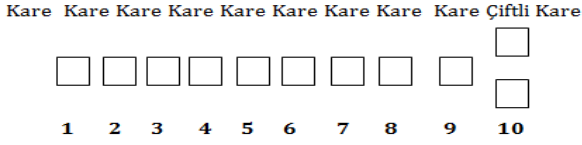


**Şekil 3.** Adalya bej mermer ocağında kullanılan Fantini 70 SUPER-H zincirli kesme makinesinde keski grubundaki pcd, kare ve yıldız keskilerin dizilimi

Kare Kare Kare Kare Kare Kare Kare Çiftli Kare Çiftli Kare Çiftli Kare

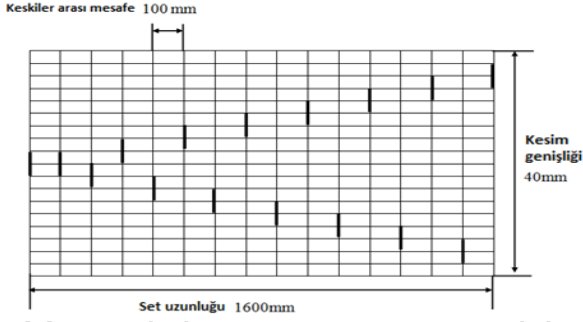


**Şekil 4.** Traverten mermer ocağında kullanılan Demmak DZK 3400 zincirli kollar kesme makinesi keski grubundaki kare keskilerin dizilimi

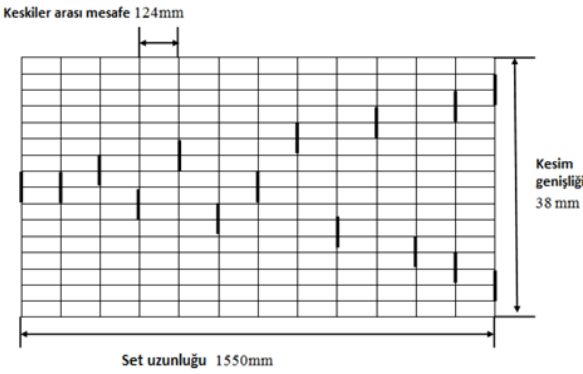


**Şekil 5.** Natürelmar limra mermer ocağında kullanılan Garrone MCRH 740 zincirli kollar kesme makinesi keski grubundaki kare keskinlerin dizilimi

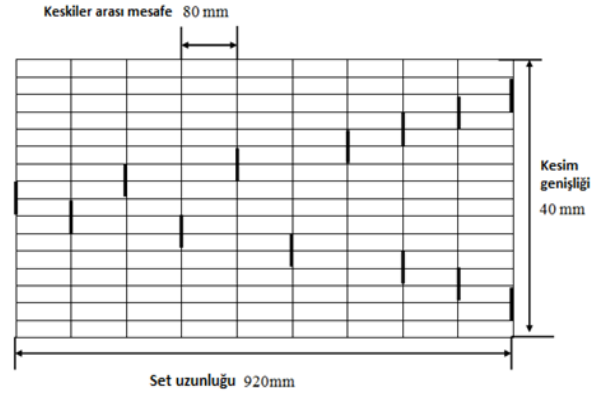
Doğaltaş ocaklarında kullanılan zincirli kollar kesme makinelerindeki kesme düzenleri Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9' da verilmiştir.



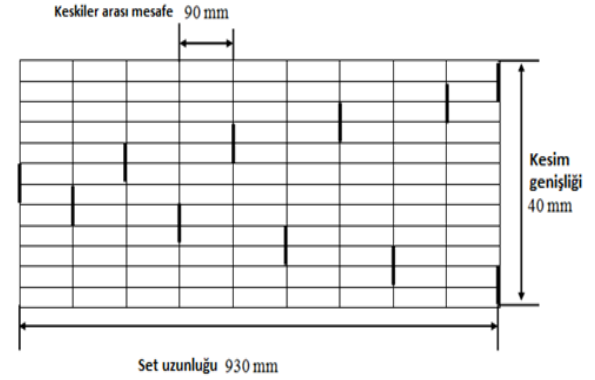
**Şekil 6.** Tureks bej Fantini 70 SUPER-H zincirli kesme makinesinde kesme düzeni



**Şekil 7.** Adalya bej Fantini 70 SUPER-H zincirli kesme makinesinde kesme düzeni



**Şekil 8.** Traverten Demmak DZK 3400 zincirli kesme makinesinde kesme düzeni



**Şekil 9.** Limra mermer ocağında Garrone MCRH 740 zincirli kollar kesme makinesinde kesme düzeni

### 3. Bulgular

Çalışma yapılan doğaltaş ocaklarının fabrikalarından alınan numunelerin Süleyman Demirel Üniversitesi doğaltaşlar laboratuvarında yapılan deneylerle fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. Doğaltaşların fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmektedir.

**Tablo 2.** Doğaltaşların fiziksel ve mekanik özellikleri

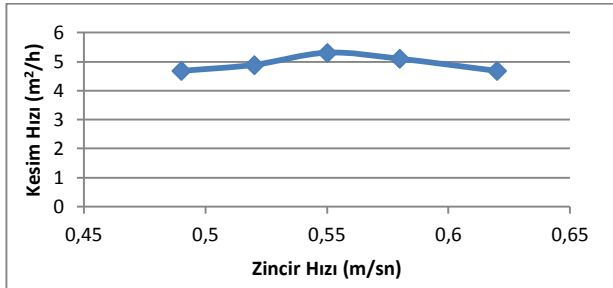
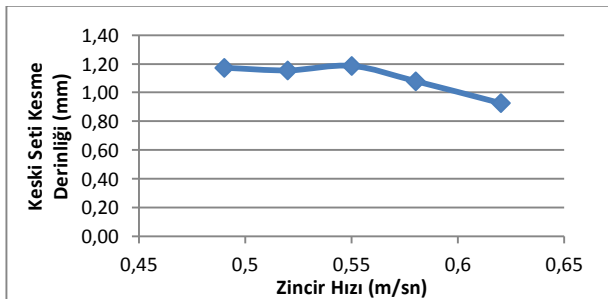
Doğal Taşlar		Birim hacim ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Görünür porozite (%)	Schmidt sertliği	P-dalga hızı (m/s)	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
Cappuccino Bej	Ortalama değer	2,66	1,20	27,20	6178,55	99,83
	Standart Sapma	0,02	0,52	1,10	199,74	19,21
Adonis Bej	Ortalama değer	2,70	0,26	38,80	6379,47	143,99
	Standart Sapma	0,01	0,06	1,10	123,26	12,18
Limra	Ortalama değer	2,35	5,61	23,20	4214,80	50,78
	Standart Sapma	0,01	0,38	1,10	41,32	7,77
Traverten	Ortalama değer	2,23	5,73	18,00	3096,91	19,93
	Standart Sapma	0,10	1,13	1,41	254,86	9,46



**Tablo 3.** Tureks diana royal-cappuccino bej ocağında kesimde yapılan performans ölçüm sonuçlarının özeti

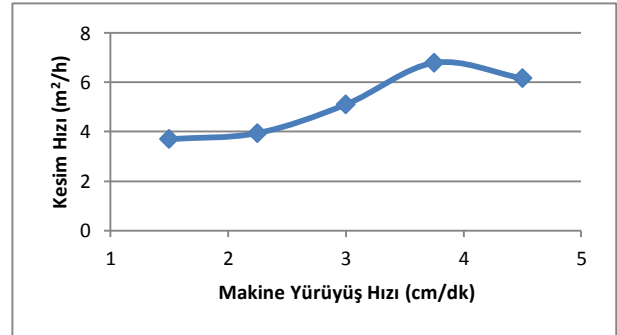
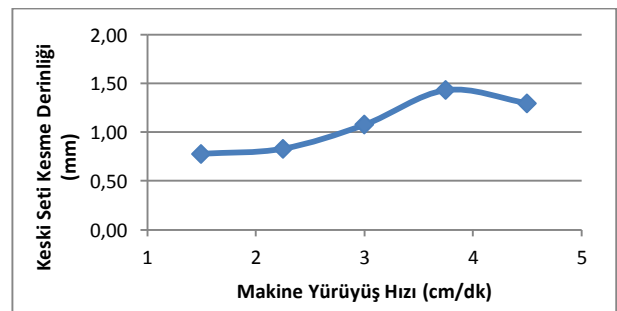
Ayarlanan zincir dönüş hızı (m/sn)	Ayarlanan makine yürüyüş hızı (cm/dk)	Zincir dönüş basıncı (bar)	Makine yürüyüş basıncı (bar)	Kesim hızı (m <sup>2</sup> /h)	Keski seti kesme derinliği (mm)	Pasa irilik indeksi
0,49	3	93	46	4,68	1,17	376
0,52	3	95	47	4,89	1,15	-
0,55	3	100	48	5,31	1,18	364
0,58	3	112	49	5,1	1,08	-
0,62	3	115	49	4,68	0,93	360
0,58	1,5	82	26	3,7	0,78	368
0,58	2,25	84	27	3,95	0,83	-
0,58	3	88	42	5,1	1,08	372
0,58	3,75	115	51	6,78	1,43	-
0,58	4,5	130	60	6,15	1,30	377

Tureks bej ocağında kesimde yapılan performans ölçüm sonuçlarının özeti Tablo 3'de verilmiştir. Kesimde kol kesme derinliği 3,5 m, kol kesme açısı 75°, keski seti uzunluğu 1,6 m'de makine yürüyüş hızı 3 cm/dk'da sabit iken zincir dönüş hızı 0,55 m/sn değerine artırıldığında zincir dönüş basıncında ve kesim hızında az bir artış olmaktadır. Zincir hızı 0,55 m/sn'den yüksek bir değere ayarlandığında zincir basıncı hala artmakta, makine kesimde zorlanmakta ve kesim hızında azalma olmaktadır (Şekil 10). Zincir hızı 0,55 m/sn değerine kadar keski kesme derinliğinde önemli bir değişiklik olmamış daha büyük zincir hızı değerlerinde kesme derinliği azalmıştır (Şekil11). Zincir hızı artışıyla pasa irilik indeksinin azaldığı kesimden daha küçük boyutta pasa çıktığı gözlemlenmiştir (Tablo3).

**Şekil 10.** Tureks bej mermer ocağında ana kesimde zincir hızının kesim hızına etkisi**Şekil 11.** Tureks bej mermer ocağında ana kesimde zincir hızının keski seti kesme derinliğine etkisi

Tureks bej mermer ocağında kesimde yapılan performans ölçüm sonuçlarına göre zincir hızı 0,58 m/sn'de sabit tutulup makine yürüyüş hızı

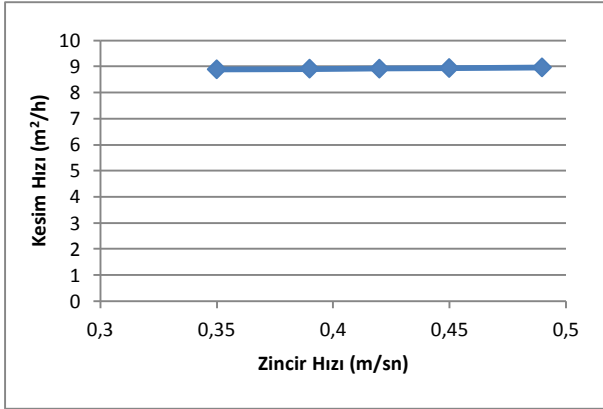
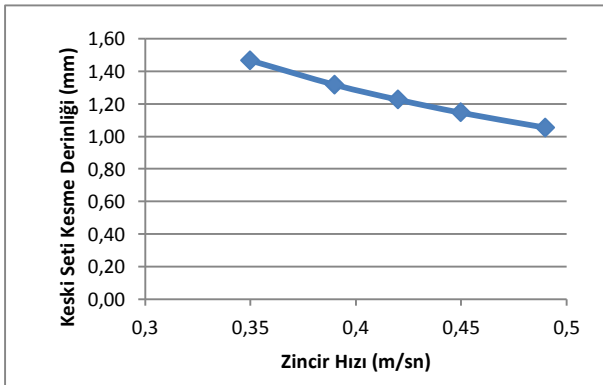
artırıldığında kesim esnasında hem zincir dönüş basıncı, hem de makine yürüyüş basıncı artmaktadır. Makine yürüyüş hızının artırılmasıyla kesim hızı ve keski kesme derinliği artmakta, 3,75 cm/dk değerinden sonra kesim performansı düşmektedir (Şekil 12 ve Şekil 13). Ancak makine yürüyüş hızı 3,75 ve 4,5 cm/dk değerlerine artırıldığında zincir dönüş basıncı sırasıyla 115 ve 130 bar, makine yürüyüş basıncı ise 51 ve 60 bar seviyelerine yükselmiştir. Bu değerlerde makine zorlanmaya başlamıştır. 4,5 cm/dk yürüme hızı değerinde makinenin uyarı lambası yanmış, bu değerde sadece 2 dakika süre tutulabilmektedir. Aksi halde makine kendini korumaya alıp çalışmayı durduracaktır. Makine yürüyüş hızının artmasıyla beraber pasa irilik indeksinin arttığı yani kesimden çıkan pasanın da daha büyük boyutlarda olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 3).

**Şekil 12.** Tureks bej mermer ocağında ana kesimde makine yürüyüş hızının kesim hızına etkisi**Şekil 13.** Tureks bej mermer ocağında ana kesimde makine yürüyüş hızının keski seti kesme derinliğine etkisi

**Tablo 4.** Adalya bej mermer ocağında kesimde yapılan performans ölçüm sonuçlarının özeti

Ayarlanan zincir dönüş hızı (m/sn)	Ayarlanan makine yürüyüş hızı (cm/dk)	Zincir dönüş basıncı (bar)	Makine yürüyüş basıncı (bar)	Kesim hızı (m <sup>2</sup> /h)	Keski seti kesme derinliği (mm)	Pasa irilik indeksi
0,35	3,75	120	31	8,89	1,47	437
0,39	3,75	115	30	8,90	1,32	-
0,42	3,75	110	30	8,92	1,23	429
0,45	3,75	108	29	8,93	1,15	-
0,49	3,75	103	29	8,95	1,06	422
0,42	2,25	80	10	3,73	0,51	413
0,42	3	90	22	4,59	0,63	-
0,42	3,75	110	29	8,52	1,17	420
0,42	4,5	130	30	9,10	1,25	-
0,42	5,25	150	35	10,42	1,43	421

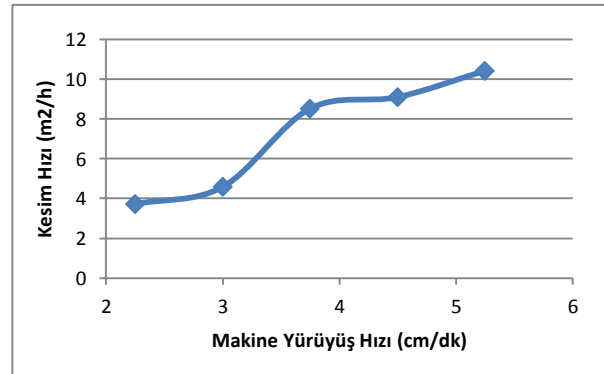
Ocakta operatör tarafından kesimde alınan ortalama kesim miktarları 2,80 m<sup>2</sup>/h ile 4,30 m<sup>2</sup>/h arasındadır. Ana kesimde zincir dönüş hızı 0,50 m/sn ile 0,55 m/sn arasında, makine yürüyüş hızı ise 3,0 cm/dk ile 3,5 cm/dk arasında alınırsa yaklaşık olarak 5 m<sup>2</sup>/h ile 5,5 m<sup>2</sup>/h arasında üretim gerçekleşecektir. Sonuç olarak bu değerlerde üretim miktarı artışı olacağı görülmektedir.

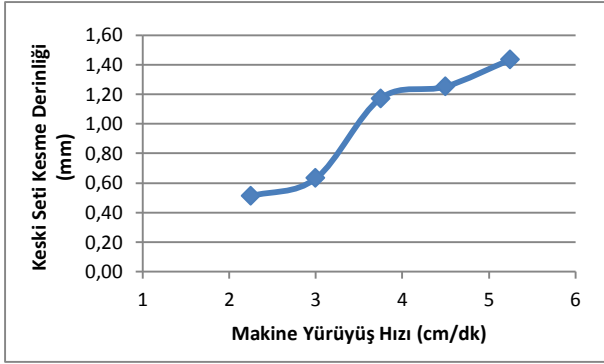
**Şekil 14.** Adonis bej ocağında ana kesimde zincir hızının kesim hızına etkisi**Şekil 15.** Adonis bej ocağında ana kesimde zincir hızının keski seti kesme derinliğine etkisi

Adalya bej mermer ocağında kesimde yapılan performans ölçüm sonuçlarının özeti Tablo 4'de verilmiştir. Adalya adonis bej mermer ocağında ana kesimde kol kesme derinliği 7,2 m, kol kesme açısı

75°, keski seti uzunluğu 1,55 m'de makine yürüyüş hızı 3,75 cm/dk değerinde sabit tutulup zincir dönüş hızı artırıldığında, zincir dönüş basıncı ve makine yürüyüş basıncı kısmen azalmakta kesim hızı ise az bir miktarda olsa artmaktadır (Şekil 14). Aynı makine yürüyüş hızında zincir hızının artması keski kesme derinliğinin azalmasına neden olmaktadır (Şekil 15). Zincir hızı artışıyla pasa irilik indeksinin azaldığı kesimden daha küçük boyutta pasa çıktığı gözlemlenmiştir (Tablo 4).

Adalya bej mermer ocağında kesimde yapılan performans ölçüm sonuçlarına göre zincir hızı 0,42 m/sn'de sabit tutulup makine yürüyüş hızı artırıldığında kesim esnasında hem zincir dönüş basıncı hem de makine yürüyüş basıncı artmaktadır. Makine yürüyüş hızının artırılmasıyla kesim hızı ve keski kesme derinliği artmaktadır (Şekil 16 ve Şekil 17). Ancak makine 3,75 cm/dk'dan daha büyük değere artırıldığında hem kesme derinliği hem de kesim hızında stabil bir artış olmamaktadır. Makine yürüyüş hızı 4,5 cm/dk değerine artırıldığında zincir dönüş basıncı 130 bar seviyesine yükselmiş ve makinenin kırmızı uyarı lambası yanmıştır. Bu değerde devam edilmesi halinde makine kendini korumaya alıp çalışmayı durduracaktır. Makine yürüyüş hızının artmasıyla beraber pasa irilik indeksinin arttığı ve kesimden çıkan pasanın da daha büyük boyutlarda olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4).

**Şekil 16.** Adonis bej ocağında ana kesimde makine yürüyüş hızının kesim hızına etkisi



Şekil 17. Adonis bej ocağında ana kesimde makine yürüyüş hızının keski seti kesme derinliğine etkisi

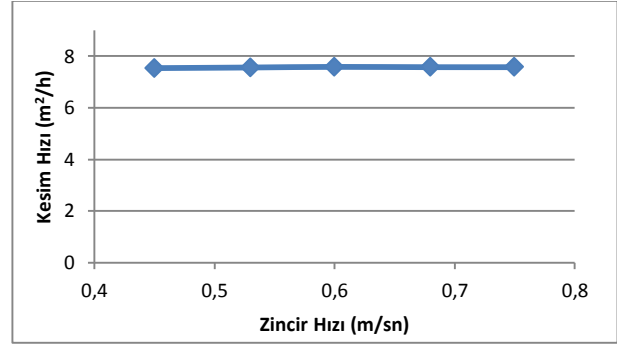
Ocakta operatör tarafından kesimde alınan ortalama kesim miktarı  $7 \text{ m}^2/\text{h}$  ile  $8 \text{ m}^2/\text{h}$  arasındadır. Kesimde zincir dönüş hızı  $0,42 \text{ m/sn}$  ile  $0,49 \text{ m/sn}$  arasında ve makine yürüyüş hızı ise  $3,5 \text{ cm/dk}$  ile  $4 \text{ cm/dk}$  arasında alınır. Yaklaşık olarak  $8,5 \text{ m}^2/\text{h}$  ile  $9 \text{ m}^2/\text{h}$  üretim gerçekleşecektir. Sonuç olarak bu değerlerde üretim miktarı artışı olacağı görülmektedir.

Demmer Denizli-Kaklık traverten ocağında ana kesimde kol kesme derinliği  $3,8 \text{ m}$ , kol kesme açısı  $80^\circ$  ve keski seti uzunluğu  $0,92 \text{ m}$  olup makine yürüyüş hızı ve zincir hızı değerleri kontrol düğmelerinden ayarlanmıştır. Kesim esnasında ampermetreden akım değerleri okunmuş ve bu değerler sürekli değiştiği içinde ortalamaları alınarak kaydedilmiştir.

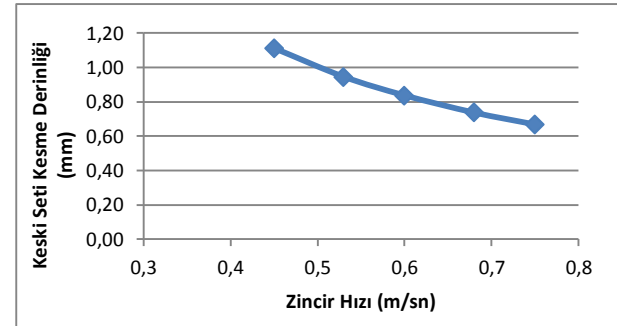
Tablo 5'de kesim öncesi ayarlanan makine yürüyüş hızı ve zincir dönüş hızı değerlerinde; çalışma esnasında göstergelerden okunan akım, kol kesme açısı, kesme hızı ile kesimden çıkan pasanın irilik indeksi değerleri verilmektedir.

Denizli Traverten ocağında kesimde yapılan performans ölçüm sonuçlarına göre makine yürüyüş hızı  $16,36 \text{ cm/dk}$ 'de sabit iken zincir hızı artırıldığında zincir daha rahat dönmüş ve kesim hızında önemli bir değişim olmamıştır (Şekil 18). Zincir hızı arttıkça keski kesme derinliği azaldığından (Şekil 19) makinenin çektiği akımda azalmıştır. Zincir dönüş hızının artmasıyla pasa irilik indeksinin

azaldığı ve kesimden küçük boyutta malzeme elde edildiği görülmüştür (Tablo 5).



Şekil 18. Traverten ocağında ana kesimde zincir hızının kesim hızına etkisi



Şekil 19. Traverten ocağında ana kesimde zincir hızının keski seti kesme derinliğine etkisi

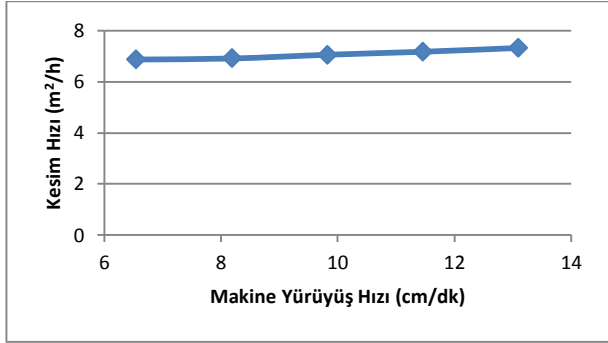
Kesimde zincir dönüş hızı  $0,6 \text{ m/sn}$  de sabit tutulup makine yürüyüş hızı artırıldığında makinenin çektiği akımda artmıştır. Traverten çok sağlam bir yapıda olmadığı için makinede zorlanma olmamıştır ve değerler anlık çok büyük bir fark olmadan değişiklik göstermiştir. Makine yürüyüş hızının artmasıyla kesim hızı az miktarda olsa artmıştır (Şekil 20). Makine yürüyüş hızının artmasıyla kesme derinliği de artmıştır (Şekil 21). Makine yürüyüş hızı arttıkça kesimden çıkan pasanın da irilik indeksinin arttığı yani daha büyük boyutlarda pasa çıktığı gözlemlenmiştir (Tablo 5).

Ocakta operatör tarafından kesimde alınan ortalama kesim miktarları  $6,80 \text{ m}^2/\text{h}$  ile  $7,10 \text{ m}^2/\text{h}$  arasında değişmektedir. Öngörülen çalışma parametrelerinde

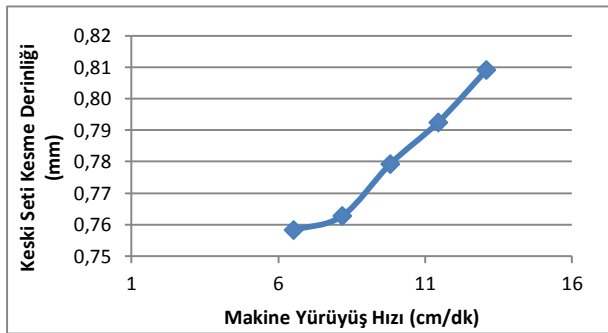
Tablo 5. Denizli traverten ocağında kesimde yapılan performans ölçüm sonuçlarının özeti

Ayarlanan zincir dönüş hızı (m/sn)	Ayarlanan makine yürüyüş hızı (cm/dk)	Akım ölçümleri (amper)	Kesim hızı ( $\text{m}^2/\text{h}$ )	Keski seti kesme derinliği (mm)	Pasa irilik indeksi
0,45	16,36	28	7,55	1,11	440
0,53	16,36	26	7,57	0,95	-
0,6	16,36	24	7,59	0,84	434
0,68	16,36	22	7,58	0,74	-
0,75	16,36	21,5	7,58	0,67	406
0,6	6,54	22	6,87	0,76	390
0,6	8,18	23	6,91	0,76	-
0,6	9,82	23,5	7,06	0,78	410
0,6	11,45	24,3	7,18	0,79	-
0,6	13,09	25,1	7,33	0,81	428

kesim hızında önemli bir artışın sağlanamayacağı görülmektedir. Dolayısıyla mevcut çalışma koşulları uygun görünmektedir.



Şekil 20. Traverten ocağında ana kesimde makine yürüyüş hızının kesim hızına etkisi

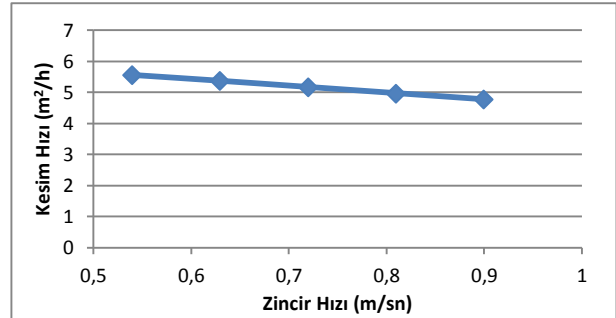


Şekil 21. Traverten ocağında ana kesimde makine yürüyüş hızının keski seti kesme derinliğine etkisi

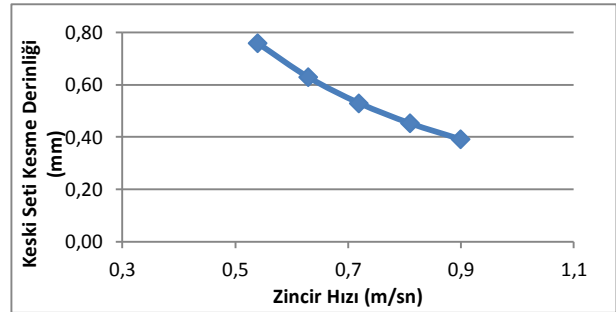
Natürelmar limra ocağında ana kesimde kol kesme derinliği 3,30 m, kol kesme açısı 70° ve keski seti uzunluğu 0,93 m olup makine yürüyüş hızı ve zincir hızı değerleri kontrol düğmelerinden ayarlanmıştır.

Tablo 6'da ana kesim öncesinde ayarlanan makine yürüyüş hızı ve zincir hızı değerlerinde; çalışma esnasında göstergelerden okunan makine yürüyüş basıncı ve zincir dönüş basıncı, kesme hızı ile kesimden çıkan pasanın irilik indeksi değerleri verilmektedir. Kesimde makine yürüyüş hızı 6 cm/dk'da sabit iken zincir dönüş hızı 0,9 m/sn ye kadar arttıkça zincir dönüş basıncı azalmakta, makine yürüyüş basıncında önemli bir değişiklik

olmamaktadır. Zincir hızı kesim hızını çok fazla etkilememiş (Şekil 22), keski kesme derinliği ise önemli ölçüde azalmıştır (Şekil 23). Zincir hızı artışıyla birlikte pasa irilik indeksinin azaldığı kesimden daha küçük boyutta pasa çıktığı gözlemlenmiştir (Tablo 6).



Şekil 22. Limra ocağında ana kesimde zincir hızının kesim hızına etkisi



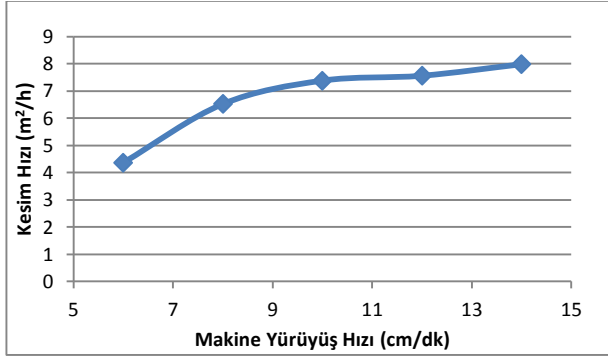
Şekil 23. Limra ocağında ana kesimde zincir hızının keski seti kesme derinliğine etkisi

Natürelmar Limra ocağında kesimde yapılan performans ölçüm sonuçlarına göre zincir hızı 0,9 m/sn'de sabit tutulup makine yürüyüş hızı artırıldıkça hem zincir dönüş basıncı hem de makine yürüyüş basıncı artmaktadır. Kesim hızında artış olmuş (Şekil 24), kesme derinliği de artmıştır (Şekil 25). Ancak yürüme hızı 10 cm/dk'dan fazla olduğunda kesim hızı ve kesme derinliğinde çok büyük artış olmamıştır. Yürüme hızı 14 cm/dk'da basınç 120 bara gelmiş ve kol üzerine yükün aşırı bindiği ve kolun kastiği gözlemlenmiştir. Makine yürüyüş hızının artmasıyla beraber pasa irilik

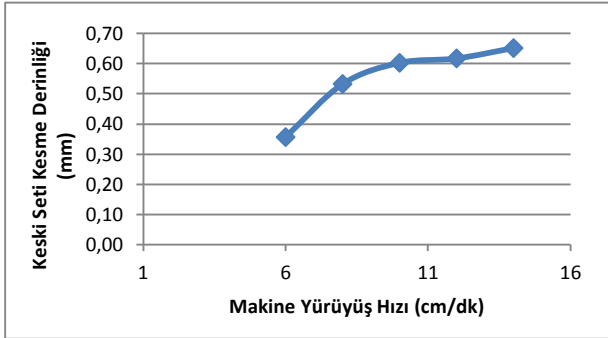
Tablo 6. Natürelmar limra ocağında kesimde yapılan performans ölçüm sonuçlarının özeti

Ayarlanan zincir dönüş hızı (m/sn)	Ayarlanan makine yürüyüş hızı (cm/dk)	Zincir dönüş basıncı (bar)	Makine yürüyüş basıncı (bar)	Kesim hızı (m²/h)	Keski seti kesme derinliği (mm)	Pasa irilik indeksi
0,54	6	80	14	5,56	0,76	370
0,63	6	78	15	5,37	0,63	-
0,72	6	68	13	5,17	0,53	357
0,81	6	60	15	4,97	0,45	-
0,9	6	57	14	4,77	0,39	332
0,9	6	42	80	4,37	0,36	328
0,9	8	44	95	6,52	0,53	-
0,9	10	45	100	7,38	0,60	401
0,9	12	43	115	7,56	0,62	-
0,9	14	47	120	7,98	0,65	413

indeksinin arttığı ve kesimden çıkan pasanın da daha büyük boyutlarda olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 6).



Şekil 24. Limra ocağında ana kesimde makine yürüyüş hızının kesim hızına etkisi



Şekil 25. Limra ocağında ana kesimde makine yürüyüş hızının keski seti kesme derinliğine etkisi

Ocakta operatör tarafından kesimde alınan ortalama kesim miktarları 6 m<sup>2</sup>/h ile 6,5 m<sup>2</sup>/h arasındadır. Kesimde zincir dönüş hızı 0,6 m/sn ile 0,7 m/sn arasında makine yürüyüş hızı ise 8 cm/dk ile 10 cm/dk arasında alınır. Yaklaşık olarak 6,5 m<sup>2</sup>/h ile 7 m<sup>2</sup>/h arasında üretim gerçekleşecektir. Sonuç olarak bu değerlerde üretim miktarı artışı olacağı görülmektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Zincirli kollu kesici makinenin ana kesim esnasında zincir hızının artırılmasıyla keski seti kesme derinliği azaldığından pasa irilik indeksi de azalmakta yani kesimden daha küçük boyutta kırıntı çıkmaktadır. Sabit makine yürüyüş hızında zincir hızı arttıkça makinenin daha rahat kestiği görülmüştür. Ancak daha öncede belirtildiği gibi kesme derinliği düşük ise pasa irilik indeksi azalacak yani pasanın parça boyutu incecek ve bunların sonucunda spesifik enerji artacaktır. Genel olarak zincir hızındaki değişimin kesme hızına çok fazla bir etkisinin olmadığı sadece kesimin zorluğunu etkilediği görülmüştür.

Ocaklarda zincirli kollu kesici ile yapılan kesme deneyleri sonucunda makinede ölçülen basınç değerleri ile makinenin zorlanma durumu (titreşim vb) gibi makine ile ilgili parametreler, kesme derinliği, kesme hızı ve çıkan pasanın boyutu gibi parametreler dikkate alınarak optimum çalışma

koşulları belirlenmeye çalışılmış ve öneriler getirilmiştir. Bu önerilen değerler ana kesimler de uygulanarak kesimler tamamlanmıştır.

Bu çalışma ve araştırmalar sonucunda, zincirli kollu kesme makinelerinin çeşitli sebeplerden dolayı optimum kesme koşullarında çalışmadığı anlaşılmaktadır. Optimum koşullarda çalışabilecek bu makinelerin ocaklarda bu belirlenen parametrelerde çalıştırarak kesim yapılmasında kesim veriminin artışına ve hatta genel ocak veriminin de artışına katkı sağlayacağı ortadadır. Ayrıca bu belirlenen optimum değerlerde kesim yapılmasında makinenin aşırı zorlanmadan kesim yapmasından makine ömrüne de olumlu katkı sağlayacağı unutulmamalıdır.

#### Kaynakça

- [1] Çalışkan, M. A., 2018. Mermer Ocaklarında Kullanılan Zincirli Kesme Makinelerinin Performanslarının Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 119s, Isparta.
- [2] Fantini, 2017. Erişim Tarihi: 29.12.2017. <http://www.fantinispa.it/tr>
- [3] Önenç, D., Demirocak, Y., 2003. Tabaka Duruşlarına Göre Blok Kesim Yöntemlerinin Ocak Mermer İşletmeciliğinde Planlanması Ve Ayna Pozisyonlarının Dizaynları. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı. 18-19 Aralık, Afyon, 277-289.
- [4] Çopur, H., Balcı, C., Bilgin, N., Tumaç, D., Feridunoğlu, C., Dincer, T., 2006. Cutting Performance Of Chain Saws In Quarries And Laboratory. Proceeding of the 15th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection. Torino, Italy, 1-6.
- [5] Demirel, Ş., 2008. Mermer Ocaklarında Kollu Zincirli Kesme Makinesinin Uygulanabilirliği. I. Ulusal Mermer ve Doğaltaşlar Kongresi, 1-2 Şubat, İzmir, 187-196.
- [6] Çopur, H., Bilgin, N., Balcı, C., Tumaç, D., 2008. Doğal Taş Madenciliğinde Kullanılan Zincirli Kesme Makinelerinin Kazı Performanslarının Optimizasyonu. TÜBİTAK Rapor No 105M017, 224s.
- [7] Yeşilkaya, L., Ersoy, M., Çelik, M., Çatalpınar, A., 2009. Kalkık-Denizli Traverten Ocağında Zincirli Kollu Kesicinin Kullanımının Araştırılması. Madencilik Dergisi, Eylül. 48(3), 33-43.
- [8] Saruışık, A., Saruışık, G., 2010. Efficiency Analysis Of Armed-Chained Cutting Machines In Block Production In Travertine Quarries. Journal Papers, 110, 473-480.
- [9] Çopur, H., Balcı, C., Tumaç, D., Bilgin, N., 2011. Field And Laboratory Studies On Natural Stones

Leading To Empirical Performance Prediction Of Chain Saw Machines. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 48(2), 269-282.

[10] Yeşilkaya, L., Ersoy, M., Çelik, M., Kayı, Z., 2017. Mermer Ocaklarında Elmas Tel Kesme ve Zincirli Kollu Kesme Makinelerinin Birlikte Kullanımının İncelenmesi. Politeknik Dergisi, 20(2), 459-473.

## The Comparison of the Estimators for the Parameters of the General Linear Regression Model via Simulation and Two Real Life Data Examples

Nalan MUTLU<sup>1</sup>, Hakan Savaş SAZAK\*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Ege University, Faculty of Science, Department of Statistics, 35100, İzmir

<sup>1</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7520-8805>)

<sup>2</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6123-1214>)

(Alınış / Received: 17.05.2018, Kabul / Accepted: 24.12.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 12.03.2019)

### Keywords

General linear regression model,  
Least squares,  
M-estimators,  
MM-estimators,  
S-estimators,  
Robust

**Abstract:** In this study we compared the efficiency and robustness of several estimators, namely, the least squares (LS) estimators, the Huber and Tukey M-estimators, the S-estimators and the MM-estimators for the parameters of the general linear regression (GLR) model via simulation. First, the programs for each method were written by using Matlab. Then, an extensive simulation study was conducted under several models. The results are consistent with the literature but some important points were also found to be remarked. As the literature suggests, in general, the MM-estimators are the most efficient estimators, and among the robust estimators discussed here, the S-estimators are the least efficient ones. Naturally, the LS estimators are badly affected by the deviations from the assumed model because of their sensitive nature. Moreover, it was found that while the LS estimator of the variance of the error term is unbiased, the robust estimators discussed here are generally biased. Additionally, the MM-estimator of the variance of the error term is less biased than the other robust estimators and its bias gets smaller faster as the sample size increases compared to the others. At the end of the study, to be more illustrative, two real life data examples were given with the related comments.

## Genel Doğrusal Regresyon Modelinin Parametrelerine Yönelik Tahmin Edicilerin Simülasyon Yoluyla Karşılaştırılması ve İki Gerçek Hayat Veri Örneği

### Anahtar Kelimeler

Genel doğrusal regresyon modeli,  
En küçük kareler,  
M-tahmin edicileri,  
MM-tahmin edicileri,  
S-tahmin edicileri,  
Dayanıklı

**Özet:** Bu çalışmada genel doğrusal regresyon modelinin parametrelerine yönelik bir çok tahmin edicinin ki bunlar en küçük kareler (EKK) tahmin edicileri, Huber ve Tukey M-tahmin edicileri, S-tahmin edicileri ve MM-tahmin edicileri olmak üzere etkinlik ve dayanıklılıklarını simülasyon yoluyla karşılaştırdık. Öncelikle her bir yöntem için Matlab kullanılarak program yazıldı. Daha sonra bir çok model altında kapsamlı bir simülasyon çalışması yürütüldü. Sonuçlar literatürle uyumlu olmakla beraber üstünde durulması gereken bazı önemli noktalar da bulunmuştur. Literatürde önerildiği şekilde genel olarak MM-tahmin edicileri en etkin tahmin edicilerdir ve burada ele alınan dayanıklı tahmin ediciler arasında S-tahmin edicileri en az etkinliğe sahiptirler. Doğal olarak EKK tahmin edicileri hassas yapıları sebebiyle varsayılan modelden sapmalardan kötü bir şekilde etkilenmektedirler. Ayrıca hata teriminin varyansının EKK tahmin edicisi yansızken burada ele alınan dayanıklı tahmin edicilerinin genelde yanlı olduğu bulunmuştur. Bunun yanında hata teriminin varyansının MM-tahmin edicisi diğer dayanıklı tahmin edicilere göre daha az yanlıyken örneklem hacmi arttıkça da yan miktarı diğerlerine göre daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. Çalışmanın sonunda daha aydınlatıcı olması için ilgili yorumlarıyla beraber iki gerçek hayat verisi örneği verilmiştir.

### 1. Introduction

The general linear regression (GLR) model covers many particular cases and for this reason it can be used for general purposes [1]. The GLR model can be given as follows

$$Y = X \beta + \varepsilon \quad (1)$$

$n \times 1$     $n \times (p+1)$     $(p+1) \times 1$     $n \times 1$

Here,  $Y$  is the vector of the response variable,  $X$  is the matrix of the independent variables,  $\beta$  is the vector of the parameters,  $\varepsilon$  is the vector of the error term,  $n$  is

\* Corresponding author: [ssazak@yahoo.com](mailto:ssazak@yahoo.com)

the sample size and  $p$  is the number of slope parameters. The assumptions related to Eq. (1) are

$$E(\varepsilon) = 0$$

$$Var(\varepsilon) = \sigma^2 I$$

$$rank(X) = p + 1$$

where  $I$  is the identity matrix. The second assumption implies constant variance and the independence of the error terms (under normality). In some situations, instead of the second assumption, the following assumption can be made for flexibility about the variance of the error terms and their independence but at an expense of much more complicated estimation process.

$$Var(\varepsilon) = \Sigma$$

In real life, there are very rare situations where the parameters are known. Thus, the sample should be used effectively to estimate the parameters of interest. The least squares (LS) method is generally used for the estimation of the parameters since it is very easy and straightforward but also known to be very sensitive against deviations from the assumed models and distributions. Quite many estimators which are called robust have been proposed so far to compensate for the sensitive nature of the LS estimators but none of them were fully efficient under normality although some of them possess satisfactory efficiencies. In this study we intended to compare the efficiency and robustness of the most popular estimators related to the GLR model via simulation. In the literature their efficiencies are already known but there are more points to be revealed about their properties. For this purpose, we first wrote programs for each method by using Matlab and conducted an extensive simulation study by using our own programs. Using our own programs in the simulations is an important contribution in the area. We also found some interesting features of the robust estimators of the variance of the error term. Conducting the regression analysis of the real life data sets using several graphical and numerical tools is another merit of the study. This paper is organized as follows. In Section 2 we give more detailed information about the literature and the methods used in this study. Section 3 presents the simulation results and the related comments. In Section 4 two real life data examples are given to illustrate the usage of the mentioned methods in the estimation of the parameters of interest with the related graphics and comments. The final section includes discussion and some concluding remarks.

## 2. The Literature Review and the Methods Included in the Study

In this section we will introduce the methods used in this study in detail.

### 2.1. The least squares method

The LS method is based on finding the estimators which minimizes the error sum of squares and used in many areas because of its easiness in the estimation process. Specifically, it is defined as follows

$$\min \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \quad (2)$$

It can also be defined by using the matrix format as

$$\min \varepsilon' \varepsilon \quad (3)$$

Depending on Eq. (1), taking the derivative w.r.t.  $\beta$  gives the following LS estimator of  $\beta$

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y \quad (4)$$

The LS estimator of  $\sigma^2$  is the minimized errors sum of squares divided by the degrees of freedom of the residuals which is given below for our case as

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{(Y - X\hat{\beta})'(Y - X\hat{\beta})}{n - (p + 1)} = \frac{e' e}{n - (p + 1)} \quad (5)$$

### 2.2. The weighted least squares method

The weighted least squares (WLS) method is based on finding the estimators minimizing the weighted error sum of squares. In fact both the WLS and the LS are special cases of the generalized least squares (GLS) which is based on finding the estimators minimizing the Mahalanobis distance of the errors. The WLS method with the given weights  $w_i$  is defined as

$$\min \sum_{i=1}^n w_i \varepsilon_i^2 \quad (6)$$

If we define  $W = \underset{n \times n}{diag}(w_i; i = 1, \dots, n)$ , we can also give its definition by using the matrix format as follows

$$\min \varepsilon' W \varepsilon \quad (7)$$

Taking the derivative w.r.t.  $\beta$  gives the following WLS estimator

$$\hat{\beta} = (X'WX)^{-1} X'WY \quad (8)$$

### 2.3. The iteratively reweighted least squares algorithm

Most of the robust estimation methods require iteration since they cannot be obtained explicitly. In



order to solve them by iteration, generally, the iteratively reweighted least squares (IRWLS) algorithm is utilized. Andersen [2] gave the definition of its steps as follows

**Step 1:** In the beginning, let iteration number  $q$  be zero,  $q=0$ .  $\hat{\beta}^{(q)}$  is obtained as an initial estimate by using the LS method.

**Step 2:** At iteration number  $q$ , the residuals  $e_i^{(q)}$  are obtained by using the estimate  $\hat{\beta}^{(q)}$ . By using the residuals  $e_i^{(q)}$ , we calculate the estimate for the standard deviation of the error term  $\hat{\sigma}^{(q)}$  with the median absolute deviation (MAD) from the formulas given below as proposed by Hampel et al. [3].

$$\hat{\sigma}^{(q)} = 1.4826MAD \tag{9}$$

$$MAD(e^{(q)}) = \text{median} \left| e_i^{(q)} - \text{median}(e_i^{(q)}) \right| \tag{10}$$

The coefficient 1.4826 in Eq. (9) is used to make the estimator of the standard deviation unbiased under normality (see Hampel et al. [3] for details).

**Step 3:** The residuals are standardized with  $\hat{\sigma}^{(q)}$  as  $u_i^{(q)} = \frac{e_i^{(q)}}{\hat{\sigma}^{(q)}}$  and the weights  $w_i^{(q)}$  are obtained by using  $u_i^{(q)}$ .

**Step 4:** The WLS estimator  $\hat{\beta}^{(q+1)}$  is obtained which minimizes the weighted error sum of squares  $\sum_{i=1}^n w_i^{(q)} \varepsilon_i^2$ . When expressed in the matrix format, it can be given as below

$$\hat{\beta}^{(q+1)} = (X^T W^{(q)} X)^{-1} X^T W^{(q)} Y \tag{11}$$

where  $W^{(q)} = \text{diag}(w_i^{(q)}; i = 1, \dots, n)$ .

**Step 5:** The condition given in Eq. (12) is checked for convergence at iteration  $q$  for a prespecified small value  $\delta$ . The iteration stops at convergence. Otherwise, we continue to Step 6.

$$\frac{\|\hat{\beta}^{(q+1)} - \hat{\beta}^{(q)}\|}{\|\hat{\beta}^{(q+1)}\|} < \delta \tag{12}$$

**Step 6:** Iteration number  $q$  is increased by 1 unit,  $q=q+1$ . Then, we go to Step 2.

### 2.4. The least median of squares

The least median of squares (LMS) method was found by Rousseeuw [4]. It is based on minimizing the

median of the squares of the errors which is given below

$$\min \text{median}(\varepsilon_i^2) \tag{13}$$

The LMS method is known to have high break down point (BDP) but low efficiency under normality [5].

### 2.5. The M-estimators

The M-estimators were introduced by Huber [6] as a result of a search to find a robust alternative for the LS method which is known to be very sensitive to possible shifts from the assumed model. The principle of the M-estimation is minimizing the sum of a selected  $\rho$  function of the errors instead of the sum of squares of them. Thus, in this sense, the LS method is a special case of the M-estimation method. More specifically, the definition of the M-estimators can be given by the following expression

$$\min \sum_{i=1}^n \rho(\varepsilon_i) \tag{14}$$

There are many alternatives for  $\rho$  function serving different purposes which can be found in Türkay [7]. Though depending on the selection of  $\rho$  function, in general, the M-estimators are robust with low BDP and high efficiency w.r.t. the LMS estimators. In general,  $\rho$  functions are not linear, and for this reason, the estimation process requires iteration. It is quite common to use the IRWLS algorithm to obtain the estimators. Susanti et al. [8] gave an algorithm which can be used to obtain the M-estimators. Its only difference from the IRWLS algorithm is that it includes some tests about the validity of the regression model, the existence of outliers and the significance of the independent variables in the model. For the M-estimators, we used two weight functions, namely, the Huber and Tukey bisquare weight functions. The weight function of Huber is [7]

$$w_i = \begin{cases} 1 & \text{if } |u_i| \leq c \\ c/|u_i| & \text{if } |u_i| > c \end{cases} \tag{15}$$

The weight function of Tukey bisquare is [7]

$$w_i = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{u_i}{c}\right)^2\right)^2 & \text{if } |u_i| \leq c \\ 0 & \text{if } |u_i| > c \end{cases} \tag{16}$$

We used  $c=1.345$  and  $c=4.685$  in our study, respectively, for the cases of the Huber and Tukey M-estimation as suggested by Holland and Welsch [9] to maintain 95% asymptotic efficiency w.r.t. the LS estimators under normality.

### 2.6. The S-estimators

The S-estimators which possess high BDP were found by Rousseeuw and Yohai [10]. They are called the S-estimators because they are based on the scale estimation of the errors. It is the generalized form of the LMS method [11]. The S-estimation method minimizes the sum of the function  $\rho$  of the scaled errors satisfying the conditions defined in Rousseeuw and Yohai [10]. It is aimed to increase the efficiency of the LMS method by using a robust but more efficient scale estimator than the median [8]. In this sense, it is defined by the following expression

$$\min \sum_{i=1}^n \rho\left(\frac{\varepsilon_i}{\sigma_s}\right) \tag{17}$$

For a specific sample, according to Rousseeuw and Yohai [10], the following equation is solved to obtain the S-estimators

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho\left(\frac{e_i}{\hat{\sigma}_s}\right) = K \tag{18}$$

Here,  $K$  is the expected value of  $\rho$  under the standard normal distribution,  $\hat{\sigma}_s$  is the S-estimator of scale for the error term and  $e_i$  are the residuals calculated by using the S-estimator of the  $\beta$  vector [5]. Susanti et al. [8] gave an algorithm to obtain the S-estimators as follows

**Step 1:**  $\hat{\beta}$  is obtained as an initial estimate by using the LS method.

**Step 2:** The residuals  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$  are obtained by using the latest estimate  $\hat{\beta}$ .

**Step 3:** By using the residuals obtained in the previous step, we calculate the estimate for the standard deviation of the error term by using the following formula

$$\hat{\sigma}_s = \begin{cases} 1.4826 MAD & \text{for iteration} = 1 \\ \sqrt{\frac{1}{nK} \sum_{i=1}^n w_i e_i^2} & \text{for iteration} > 1 \end{cases} \tag{19}$$

**Step 4:** The residuals are standardized as  $u_i = \frac{e_i}{\hat{\sigma}_s}$ .

**Step 5:** The weights  $w_i$  are obtained by the following formula

$$w_i = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{u_i}{c}\right)^2\right)^2 & \text{if } |u_i| \leq c \\ 0 & \text{if } |u_i| > c \end{cases} \text{ for iteration} = 1 \tag{20}$$

$$w_i = \frac{\rho(u_i)}{u_i^2} \text{ for iteration} > 1$$

**Step 6:**  $\hat{\beta}$  is obtained from Eq. (8) by using the weights  $w_i$  by utilizing the WLS method.

**Step 7:** The steps 2-6 are repeated till convergence between the latter and former estimates is established.

Rousseeuw and Yohai [10] suggested using  $c=1.547$  so that the BDP of the S-estimators is 0.5 (50%). Stuart [12] stated that the following objective function  $\rho(u_i)$  which is associated with the Tukey bisquare weight function can be used in obtaining the S-estimators

$$\rho(u_i) = \begin{cases} \frac{u_i^2}{2} - \frac{u_i^4}{2c^2} + \frac{u_i^6}{6c^4} & \text{if } |u_i| \leq c \\ \frac{c^2}{6} & \text{if } |u_i| > c \end{cases} \tag{21}$$

By taking numerical integration in Matlab, we obtained the corresponding BDP values for some specific values of  $c$  and  $K$  where  $K$  is directly related to the value of  $c$ . Rousseeuw and Yohai [10] also provided the asymptotic relative efficiencies of the S-estimators for some selected values of  $c$  w.r.t. the LS estimators under normality. Table 1 given here is in exact conformity with the corresponding tables in Rousseeuw and Yohai [10] and Stuart [12].

It was noted by Rousseeuw and Yohai [10] that the S-estimators with the tuning constant  $c=1.547$  can hardly be used as a final estimate because of a very low asymptotic efficiency of 28.7% w.r.t. the LS estimators under normality but they can be used as an initial estimate because of the high BDP of 50%.

**Table 1.** The asymptotic relative efficiency and BDP of the S-estimators corresponding to some selected values of  $c$  and  $K$  for the Tukey bisquare function

BDP	Efficiency	c	K
50%	28.7%	1.547	0.1995
45%	37.0%	1.756	0.2312
40%	46.2%	1.988	0.2634
35%	56.0%	2.251	0.2957
30%	66.1%	2.560	0.3278
25%	75.9%	2.973	0.3593
20%	84.7%	3.420	0.3899
15%	91.7%	4.096	0.4194
12%	95.0%	4.685	0.4368
10%	96.6%	5.182	0.4475

### 2.7. The MM-estimators

The MM-estimators were found by Yohai [13] to maintain both high efficiency under normality and robustness with high BDP at the same time. He suggested using the S-estimators with the tuning constant  $c=1.547$  in the early stage to maintain a BDP of 50%, and using the S-estimators for the standard deviation and the M-estimators for  $\beta$  both with the tuning constant  $c=4.685$  in the remaining stages to maintain an asymptotic relative efficiency of 95% w.r.t. the LS estimators under normality using the Tukey bisquare function in all stages. The steps of the algorithm to obtain the MM-estimators are [8]

**Step 1:**  $\hat{\beta}$  is obtained as an initial estimate by using the S-estimation method with the tuning constant  $c=1.547$ .

**Step 2:** The residuals  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$  are obtained by using the latest estimate  $\hat{\beta}$ .

**Step 3:** By using the residuals obtained in the previous step, we calculate the estimate for the standard deviation  $\hat{\sigma}_s$  by using the S-estimation method but with the tuning constant  $c=4.685$ .

**Step 4:** The residuals are standardized as  $u_i = \frac{e_i}{\hat{\sigma}_s}$ .

**Step 5:** The weights  $w_i$  are obtained by using the Tukey bisquare function as in Eq. (16) with  $c=4.685$ .

**Step 6:**  $\hat{\beta}$  is obtained from Eq. (8) by using the weights  $w_i$  by utilizing the WLS method.

**Step 7:** The steps 2-6 are repeated till convergence between the latter and former estimates is established.

### 3. The Simulation Results

In order to compare the efficiency and robustness of the estimators mentioned in this paper, namely, the LS estimators, the Huber and Tukey M-estimators, the S-estimators and the MM-estimators, an extensive simulation study was conducted including several models. Although all the programs in this study were written in Matlab for the GLR model given in Eq. (1), for easy interpretation and commentary, the simulations were conducted for the simple linear regression model which is a special case of the GLR model and also given below (see Mutlu [14] for details)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \tag{22}$$

In this model,  $\beta_0$  is the intercept,  $\beta_1$  is the slope parameter and  $\varepsilon$  is the error term. Without loss of generality,  $\beta_0 = 0$ ,  $\beta_1 = 1$  and  $\sigma^2 = 1$ . The sample sizes were taken as  $n=30, 50$  and  $100$  for  $mn=[300000/n]$  Monte Carlo runs. The models (distributions) included in this study are

**Model 1:** Bivariate normal;

$$X \sim N(0,1), \varepsilon \sim N(0,1)$$

**Model 2:** Design variable  $X$  and normal error term;

$$X = 1, \dots, n, \varepsilon \sim N(0,1)$$

**Model 3:** Mixture type outlier model;

$$X = 1, \dots, n, \varepsilon \sim \pi N(0, k^2) + (1 - \pi)N(0,1), \pi = 0.1$$

**Model 4:** Dixon's outlier model;

$$X = 1, \dots, n, \varepsilon \sim r N(0, k^2) + (n - r) N(0,1), r = [0.5 + 0.1n]$$

**Remark:** For the models 2-4,  $X$  is a design variable instead of a normally distributed (or a stochastic) variate. Although this is not realistic in most of the situations in real life,  $X$  is generally assumed to be a design variable in regression analysis for easiness in theoretical inferences. See Sazak et al. [15] for a detailed discussion on this topic. Since this is quite common in the literature, we took  $X$  as a design variable for these models.

We produced  $\hat{\beta}_0$ ,  $\hat{\beta}_1$  and  $\hat{\sigma}^2$  for all the estimators we mentioned before and obtained their simulated means, biases, variances and mean square errors (mse), and calculated the relative efficiency (REff) of the estimators w.r.t. the LS estimators. The REff of  $\hat{\theta}_1$  w.r.t.  $\hat{\theta}_2$ , both being the estimators of  $\theta$ , can be given by the following formula

$$REff(\hat{\theta}_1 | \hat{\theta}_2) = 100 \frac{mse(\hat{\theta}_2)}{mse(\hat{\theta}_1)} \tag{23}$$

For all the iterative algorithms, we used  $\delta = 0.00001$  in Eq. (12) to check whether the convergence is established. For easy interpretation, we scaled the errors by dividing them by  $\sqrt{1 - \pi + \pi k^2}$  and  $\sqrt{1 - (r/n) + (r/n)k^2}$  for model 3 and 4, respectively, so that  $\sigma^2 = 1$ . For these models, we took  $k=3$ .

**Table 2.** The simulated values for the model 1 with  $n=30$

		$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$
mean	LS	0.001489	1.000279	0.999613
	Huber M	0.001497	0.999944	0.944790
	Tukey M	0.001333	0.999670	0.941852
	S	0.000706	1.000546	0.878201
	MM	0.001425	1.000059	0.937580
bias	LS	0.001489	0.000279	-0.000387
	Huber M	0.001497	-0.000056	-0.055210
	Tukey M	0.001333	-0.000330	-0.058148
	S	0.000706	0.000546	-0.121799
	MM	0.001425	0.000059	-0.062420
nxvar	LS	1.033659	1.121631	2.145740
	Huber M	1.094252	1.184038	5.102216
	Tukey M	1.123756	1.216181	5.087551
	S	1.436233	1.590554	3.311405
	MM	1.084026	1.173604	1.923670
nxmse	LS	1.033726	1.121633	2.145745
	Huber M	1.094319	1.184038	5.193660
	Tukey M	1.123810	1.216184	5.188986
	S	1.436248	1.590563	3.756454
	MM	1.084087	1.173604	2.040559
REff	LS	100.0000	100.0000	100.0000
	Huber M	94.4629	94.7295	41.3147
	Tukey M	91.9840	92.2256	41.3519
	S	71.9740	70.5180	57.1216
	MM	95.3545	95.5717	105.1547

**Table 3.** The simulated values for the model 1 with  $n=50$

		$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$
mean	LS	0.001380	1.000013	0.999432
	Huber M	0.001154	0.999671	0.968208
	Tukey M	0.000986	0.999679	0.965943
	S	0.000897	0.999442	0.926836
	MM	0.001103	0.999801	0.962087
bias	LS	0.001380	0.000013	-0.000568
	Huber M	0.001154	-0.000329	-0.031792
	Tukey M	0.000986	-0.000321	-0.034057
	S	0.000897	-0.000558	-0.073164
	MM	0.001103	-0.000199	-0.037913
nxvar	LS	1.026472	1.072909	2.099407
	Huber M	1.075403	1.122060	5.187122
	Tukey M	1.089619	1.137526	5.162613
	S	1.406942	1.467706	3.499878
	MM	1.071375	1.117582	1.986270
nxmse	LS	1.026567	1.072909	2.099423
	Huber M	1.075470	1.122066	5.237660
	Tukey M	1.089667	1.137531	5.220606
	S	1.406983	1.467722	3.767527
	MM	1.071436	1.117584	2.058141
REff	LS	100.0000	100.0000	100.0000
	Huber M	95.4529	95.6191	40.0832
	Tukey M	94.2092	94.3191	40.2142
	S	72.9623	73.1003	55.7242
	MM	95.8122	96.0025	102.0058

Tables 2-4 include the simulation results for the model 1 for  $n=30, 50$  and  $100$ , respectively.

Depending on the simulation results, in general, we see a quite good efficiency of the MM-estimators even for the bivariate normal distribution. We see that all the estimators of  $\beta_0$  and  $\beta_1$  produce unbiased estimates. When we investigate the estimation of  $\sigma^2$ , all the estimators have downward bias other than the LS estimator. In general, the biases of the robust estimators tend to decrease as the sample size increases but the bias of the S-estimator of  $\sigma^2$  is the largest of all. For this model, as expected, the best performance was shown by the LS estimators but the MM-estimators have quite high efficiencies compared to the other robust estimators. The MM-estimator of  $\sigma^2$  has higher efficiency than the LS counterpart with the advantage of producing a biased estimator. Although this may sound weird, some methods deliberately produce bias to have smaller variance and mse such as ridge regression. As the sample size increases, the bias of the MM-estimator of  $\sigma^2$  becomes almost zero which makes it slightly less efficient than the LS estimator but its efficiency is still quite impressive such as 99.71%. The worst performance was shown by the S-estimators for the model 1. This is not a surprising result since the S-estimators are generally used for the initial stages in iterations.

**Table 4.** The simulated values for the model 1 with  $n=100$

		$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$
mean	LS	0.001333	1.000241	0.999707
	Huber M	0.001097	0.999719	0.982784
	Tukey M	0.000892	0.999861	0.981396
	S	0.000767	0.999654	0.962741
	MM	0.000974	0.999879	0.980696
bias	LS	0.001333	0.000241	-0.000293
	Huber M	0.001097	-0.000281	-0.017216
	Tukey M	0.000892	-0.000139	-0.018604
	S	0.000767	-0.000346	-0.037259
	MM	0.000974	-0.000121	-0.019304
nxvar	LS	1.002436	1.043011	2.049762
	Huber M	1.041683	1.090182	5.204749
	Tukey M	1.045447	1.094382	5.199698
	S	1.356219	1.396886	3.516815
	MM	1.039586	1.086767	2.018372
nxmse	LS	1.002614	1.043017	2.049771
	Huber M	1.041804	1.090190	5.234387
	Tukey M	1.045527	1.094384	5.234308
	S	1.356278	1.396898	3.655640
	MM	1.039681	1.086769	2.055635
REff	LS	100.0000	100.0000	100.0000
	Huber M	96.2383	95.6729	39.1597
	Tukey M	95.8956	95.3063	39.1603
	S	73.9239	74.6667	56.0715
	MM	96.4348	95.9742	99.7147

We give the simulation results for the model 2 in Tables 5-7. The results are quite similar with those in the model 1.

**Table 5.** The simulated values for the model 2 with  $n=30$

		$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$
mean	LS	0.003337	0.999842	1.003854
	Huber M	0.003404	0.999847	0.949110
	Tukey M	0.003845	0.999846	0.945773
	S	0.005157	0.999749	0.882981
	MM	0.003903	0.999836	0.942574
bias	LS	0.003337	-0.000158	0.003854
	Huber M	0.003404	-0.000153	-0.050890
	Tukey M	0.003845	-0.000154	-0.054227
	S	0.005157	-0.000251	-0.117019
	MM	0.003903	-0.000164	-0.057426
nxvar	LS	4.115740	0.013261	2.158996
	Huber M	4.342526	0.013989	5.100173
	Tukey M	4.458823	0.014340	5.072576
	S	5.809854	0.018699	3.349994
	MM	4.307334	0.013878	1.948387
nxmse	LS	4.116074	0.013262	2.159442
	Huber M	4.342873	0.013990	5.177867
	Tukey M	4.459266	0.014341	5.160792
	S	5.810652	0.018701	3.760800
	MM	4.307791	0.013879	2.047320
REff	LS	100.0000	100.0000	100.0000
	Huber M	94.7777	94.7948	41.7052
	Tukey M	92.3038	92.4763	41.8432
	S	70.8367	70.9162	57.4198
	MM	95.5495	95.5550	105.4765

**Table 6.** The simulated values for the model 2 with  $n=50$

		$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$
mean	LS	-0.000948	1.000072	1.003932
	Huber M	-0.000097	1.000051	0.972852
	Tukey M	-0.000329	1.000068	0.970896
	S	0.001156	1.000007	0.931397
	MM	-0.000342	1.000068	0.967362
bias	LS	-0.000948	0.000072	0.003932
	Huber M	-0.000097	0.000051	-0.027148
	Tukey M	-0.000329	0.000068	-0.029104
	S	0.001156	0.000007	-0.068603
	MM	-0.000342	0.000068	-0.032638
nxvar	LS	3.975830	0.004751	2.089644
	Huber M	4.228725	0.005057	5.243984
	Tukey M	4.272772	0.005109	5.211853
	S	5.635368	0.006741	3.504558
	MM	4.194087	0.005018	1.987915
nxmse	LS	3.975875	0.004752	2.090417
	Huber M	4.228726	0.005058	5.280835
	Tukey M	4.272778	0.005109	5.254204
	S	5.635435	0.006741	3.739876
	MM	4.194093	0.005018	2.041177
REff	LS	100.0000	100.0000	100.0000
	Huber M	94.0206	93.9492	39.5850
	Tukey M	93.0513	93.0001	39.7856
	S	70.5513	70.4876	55.8954
	MM	94.7970	94.6913	102.4124

**Table 7.** The simulated values for the model 2 with  $n=100$

		$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$
mean	LS	-0.001105	1.000039	1.003695
	Huber M	-0.000274	1.000037	0.986725
	Tukey M	-0.000314	1.000040	0.986074
	S	-0.001225	1.000059	0.967540
	MM	-0.000654	1.000044	0.985599
bias	LS	-0.001105	0.000039	0.003695
	Huber M	-0.000274	0.000037	-0.013275
	Tukey M	-0.000314	0.000040	-0.013926
	S	-0.001225	0.000059	-0.032460
	MM	-0.000654	0.000044	-0.014401
nxvar	LS	3.913309	0.001211	2.023032
	Huber M	4.133156	0.001274	5.267381
	Tukey M	4.141214	0.001278	5.251880
	S	5.364764	0.001626	3.653573
	MM	4.098923	0.001267	2.019453
nxmse	LS	3.913431	0.001212	2.024397
	Huber M	4.133164	0.001274	5.285004
	Tukey M	4.141224	0.001278	5.271272
	S	5.364914	0.001626	3.758937
	MM	4.098965	0.001267	2.040192
REff	LS	100.0000	100.0000	100.0000
	Huber M	94.6837	95.0919	38.3046
	Tukey M	94.4994	94.7722	38.4043
	S	72.9449	74.5178	53.8556
	MM	95.4736	95.6138	99.2258

In this part of the study we investigate the robustness of the estimators we mentioned before by using the model 3 and 4. The simulation results belonging to the model 3 are given in Tables 8-10. This model represents the mixture type outlier model. For  $\beta_0$  and  $\beta_1$ , although there are no big differences between the M-estimators and the MM-estimators, in general, we can say that the MM-estimators outperform the M-estimators. The LS estimators are the least efficient ones because of their sensitive nature. The S-estimators show the worst performance among the robust estimators mentioned here. For  $\sigma^2$ , we see very interesting results. The only unbiased estimates are produced by the LS estimator and all the robust estimators produce downward bias and this downward bias does not get smaller as the sample size increases. This fact makes the LS estimator of  $\sigma^2$ , asymptotically the most efficient one. Although the robust estimators are taking advantage of their bias compared to the LS estimator for small sample sizes (such as 30), as the sample size increases, their relative efficiencies drop steadily and dramatically. Most of the robust estimators of  $\sigma^2$  get worse than the LS estimator after the sample size of 30. The only robust estimator of  $\sigma^2$  which survives after 30 is the MM-estimator. Even at the sample size of 100, it is 113.61% efficient w.r.t. the LS estimator of  $\sigma^2$  but surely, it will not last so long since the bias stays the same.

**Table 8.** The simulated values for the model 3 with  $n=30$

		$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$
mean	LS	0.001812	0.999928	1.004437
	Huber M	0.002853	0.999862	0.625516
	Tukey M	0.003889	0.999802	0.622030
	S	0.004803	0.999774	0.589114
	MM	0.002743	0.999852	0.795836
bias	LS	0.001812	-0.000072	0.004437
	Huber M	0.002853	-0.000138	-0.374484
	Tukey M	0.003889	-0.000198	-0.377970
	S	0.004803	-0.000226	-0.410886
	MM	0.002743	-0.000148	-0.204164
nxvar	LS	4.146446	0.013257	7.600526
	Huber M	3.042198	0.009834	2.342228
	Tukey M	3.049290	0.009853	2.331207
	S	3.612089	0.011630	1.622072
	MM	3.023759	0.009782	3.167211
nxmse	LS	4.146544	0.013257	7.601116
	Huber M	3.042442	0.009835	6.549373
	Tukey M	3.049744	0.009854	6.617053
	S	3.612781	0.011631	6.686889
	MM	3.023985	0.009782	4.417699
REff	LS	100.0000	100.0000	100.0000
	Huber M	136.2900	134.7958	116.0587
	Tukey M	135.9637	134.5325	114.8716
	S	114.7743	113.9761	113.6719
	MM	137.1219	135.5210	172.0605

**Table 9.** The simulated values for the model 3 with  $n=50$

		$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$
mean	LS	-0.001575	1.000089	1.004148
	Huber M	-0.000906	1.000069	0.637626
	Tukey M	-0.000779	1.000069	0.634845
	S	0.000942	1.000013	0.617546
	MM	-0.001254	1.000074	0.800916
bias	LS	-0.001575	0.000089	0.004148
	Huber M	-0.000906	0.000069	-0.362374
	Tukey M	-0.000779	0.000069	-0.365155
	S	0.000942	0.000013	-0.382454
	MM	-0.001254	0.000074	-0.199084
nxvar	LS	3.999825	0.004730	7.563032
	Huber M	2.917305	0.003494	2.292132
	Tukey M	2.893122	0.003476	2.300236
	S	3.498770	0.004157	1.660401
	MM	2.867689	0.003459	2.995086
nxmse	LS	3.999949	0.004730	7.563892
	Huber M	2.917346	0.003495	8.857890
	Tukey M	2.893153	0.003476	8.967129
	S	3.498814	0.004157	8.973945
	MM	2.867768	0.003459	4.976805
REff	LS	100.0000	100.0000	100.0000
	Huber M	137.1091	135.3626	85.3916
	Tukey M	138.2557	136.0714	84.3513
	S	114.3230	113.7934	84.2873
	MM	139.4795	136.7475	151.9829

**Table 10.** The simulated values for the model 3 with  $n=100$

		$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$
mean	LS	-0.000890	1.000031	1.003803
	Huber M	-0.000530	1.000035	0.644339
	Tukey M	-0.000420	1.000031	0.643750
	S	-0.000734	1.000051	0.638170
	MM	-0.001269	1.000040	0.804471
bias	LS	-0.000890	0.000031	0.003803
	Huber M	-0.000530	0.000035	-0.355661
	Tukey M	-0.000420	0.000031	-0.356250
	S	-0.000734	0.000051	-0.361830
	MM	-0.001269	0.000040	-0.195529
nxvar	LS	3.972222	0.001215	7.619661
	Huber M	2.820909	0.000866	2.335945
	Tukey M	2.764601	0.000854	2.355297
	S	3.289559	0.000987	1.696334
	MM	2.765930	0.000857	2.884842
nxmse	LS	3.972301	0.001215	7.621107
	Huber M	2.820937	0.000866	14.985453
	Tukey M	2.764619	0.000854	15.046700
	S	3.289613	0.000987	14.788463
	MM	2.766091	0.000858	6.707997
REff	LS	100.0000	100.0000	100.0000
	Huber M	140.8150	140.3023	50.8567
	Tukey M	143.6835	142.2524	50.6497
	S	120.7528	123.0198	51.5341
	MM	143.6071	141.6382	113.6123

Tables 11-13 include the simulation results for the model 4 which represents the Dixon's outlier model. For this model, the effect of the outliers on the LS estimators is more devastating than that in the model 3. Here, for  $\beta_0$  and  $\beta_1$ , the M-estimators are performing better than the MM-estimators. Among the M-estimators, there are no big differences. Again for  $\beta_0$  and  $\beta_1$ , compared to the model 3, the S-estimators are doing better, at least not as bad as they are doing in the model 3. When we investigate the situation in the estimation of  $\sigma^2$ , we see that, similar to the model 3, all the robust estimators have downward bias and it stays the same regardless of the sample size but the effect of this bias is much more devastating than that in the model 3. Even at the sample size of 30, only the MM-estimator could survive since only the MM-estimator is better than the LS estimator of  $\sigma^2$ . For the large sample size ( $n=100$ ), even the efficiency of the MM-estimator drops below 100% (91.89%) w.r.t. the LS estimator. The M-estimators and the S-estimator of  $\sigma^2$  are very badly affected from the bias similar to the model 3 but here the situation is much worse. This simulation result also shows the asymptotic superiority of the LS estimator of  $\sigma^2$  because of its unbiasedness, surely for the distributions with finite mean and variance.

**Table 11.** The simulated values for the model 4 with  $n=30$

		$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$
mean	LS	0.006609	0.999687	0.975827
	Huber M	0.004079	0.999825	0.628920
	Tukey M	0.002677	0.999897	0.622735
	S	0.003628	0.999827	0.582426
	MM	0.004482	0.999802	0.775523
bias	LS	0.006609	-0.000313	-0.024173
	Huber M	0.004079	-0.000175	-0.371080
	Tukey M	0.002677	-0.000103	-0.377265
	S	0.003628	-0.000173	-0.417574
	MM	0.004482	-0.000198	-0.224477
nxvar	LS	8.527658	0.021458	5.368042
	Huber M	5.103122	0.013861	2.238542
	Tukey M	5.135022	0.014034	2.217537
	S	5.385578	0.015130	1.467573
	MM	5.208504	0.014078	1.958859
nxmse	LS	8.528968	0.021461	5.385571
	Huber M	5.103621	0.013862	6.369550
	Tukey M	5.135237	0.014035	6.487409
	S	5.385973	0.015131	6.698603
	MM	5.209106	0.014080	3.470560
REff	LS	100.0000	100.0000	100.0000
	Huber M	167.1160	154.8168	84.5518
	Tukey M	166.0871	152.9132	83.0158
	S	158.3552	141.8333	80.3984
	MM	163.7319	152.4235	155.1788

**Table 12.** The simulated values for the model 4 with  $n=50$

		$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$
mean	LS	-0.000190	1.000042	0.995350
	Huber M	-0.000022	1.000036	0.637060
	Tukey M	0.000774	1.000021	0.632556
	S	-0.001331	1.000069	0.612412
	MM	-0.000125	1.000043	0.792943
bias	LS	-0.000190	0.000042	-0.004650
	Huber M	-0.000022	0.000036	-0.362940
	Tukey M	0.000774	0.000021	-0.367444
	S	-0.001331	0.000069	-0.387588
	MM	-0.000125	0.000043	-0.207057
nxvar	LS	8.405250	0.007788	5.437603
	Huber M	4.909027	0.004933	2.244378
	Tukey M	4.906349	0.004928	2.233783
	S	5.144559	0.005396	1.533913
	MM	5.019659	0.004994	1.974759
nxmse	LS	8.405252	0.007788	5.438684
	Huber M	4.909027	0.004933	8.830636
	Tukey M	4.906379	0.004928	8.984543
	S	5.144647	0.005396	9.045138
	MM	5.019659	0.004994	4.118397
REff	LS	100.0000	100.0000	100.0000
	Huber M	171.2203	157.8654	61.5888
	Tukey M	171.3127	158.0146	60.5338
	S	163.3786	144.3154	60.1283
	MM	167.4467	155.9370	132.0583

**Table 13.** The simulated values for the model 4 with  $n=100$

		$\beta_0$	$\beta_1$	$\sigma^2$
mean	LS	-0.002047	1.000047	0.997094
	Huber M	-0.000643	1.000034	0.644137
	Tukey M	-0.000302	1.000030	0.642874
	S	-0.002288	1.000065	0.636052
	MM	0.000028	1.000023	0.800574
bias	LS	-0.002047	0.000047	-0.002906
	Huber M	-0.000643	0.000034	-0.355863
	Tukey M	-0.000302	0.000030	-0.357126
	S	-0.002288	0.000065	-0.363948
	MM	0.000028	0.000023	-0.199426
nxvar	LS	8.095279	0.001940	5.380468
	Huber M	4.702883	0.001223	2.313005
	Tukey M	4.691248	0.001213	2.333000
	S	4.892428	0.001298	1.604173
	MM	4.816244	0.001240	1.878930
nxmse	LS	8.095698	0.001940	5.381312
	Huber M	4.702925	0.001223	14.976870
	Tukey M	4.691257	0.001214	15.086909
	S	4.892952	0.001299	14.849970
	MM	4.816244	0.001240	5.855995
REff	LS	100.0000	100.0000	100.0000
	Huber M	172.1418	158.6241	35.9308
	Tukey M	172.5699	159.8695	35.6688
	S	165.4563	149.3665	36.2379
	MM	168.0915	156.4915	91.8941

**4. Real Life Data Examples**

In this section we illustrate the methods explained in this study with two real life data examples. For both examples we will explore the data sets in detail using several graphical and numerical tools and give the results with the related comments.

**4.1. The real life data example 1**

For the first example we will work on the R air quality data set containing 153 daily readings of air quality values between May 1 and September 30 in 1973 from New York including 6 variables. Because of the missing values in the data set, only 111 observations will be used in the regression analysis [12]. The response variable  $Y$  is the mean ozone concentration (in parts per billion) from 13:00 to 15:00 hours at Roosevelt Island. There are three independent variables which are  $X_1$ ; the solar radiation in Langleys in the frequency band 4000-7700 from 08:00 to 12:00 hours at Central Park,  $X_2$ ; the average wind speed (in miles per hour) between 07:00 and 10:00 hours at LaGuardia Airport and  $X_3$ ; the maximum daily temperature in degrees Fahrenheit again at LaGuardia Airport.

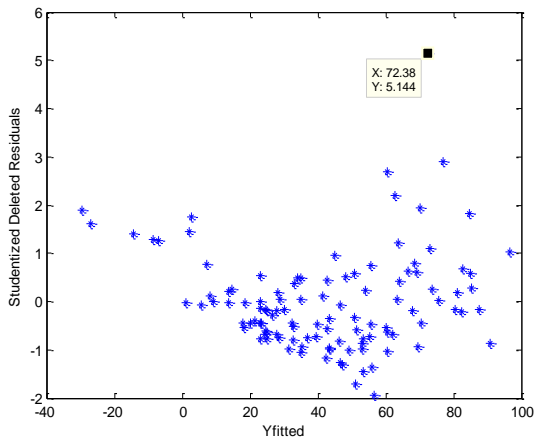
First we assume that the GLR model given in Eq. (1) and the very general conditions related to this model given just after it are right which we will check in the

following stages. Then, we obtain and give the parameter estimates produced by the estimators mentioned in this study in Table 14. It is quite surprising to see that the S-estimators produced the smallest MSE and the largest  $R^2$  values with great differences from the corresponding values produced by the other estimators despite the known low efficiency of the S-estimators in the literature. While the Huber and Tukey M-estimators and the MM-estimators produced close results, the Huber M-estimators are slightly worse. The LS estimators produced the poorest result regarding the MSE and  $R^2$ . Now we will investigate the validity of the model, the assumptions and possible outliers if any. Please note that the estimate of  $\sigma^2$  and the MSE value for the LS method are the same while for the other methods they are different.

**Table 14.** The regression estimates for the example 1

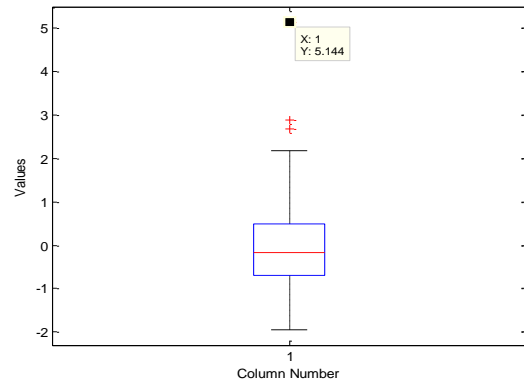
	LS	Hub. M	Tuk. M	S	MM
$\beta_0$	-64.342	-78.862	-84.704	-83.902	-84.107
$\beta_1$	1.652	1.750	1.782	1.799	1.780
$\beta_2$	-3.334	-2.656	-2.298	-2.768	-2.344
$\beta_3$	0.060	0.049	0.045	0.049	0.046
$\sigma^2$	448.624	314.227	324.661	281.779	361.789
MSE	448.624	291.179	236.205	58.324	246.935
$R^2$	0.606	0.657	0.679	0.765	0.675

In order to verify the current model, we conduct residual analysis based on the LS estimates. The plot of  $\hat{Y}$  vs. the studentized deleted residuals ( $t_{i(i)}$ ) is given in Figure 1 (see Neter et al. [1] for the definitions).



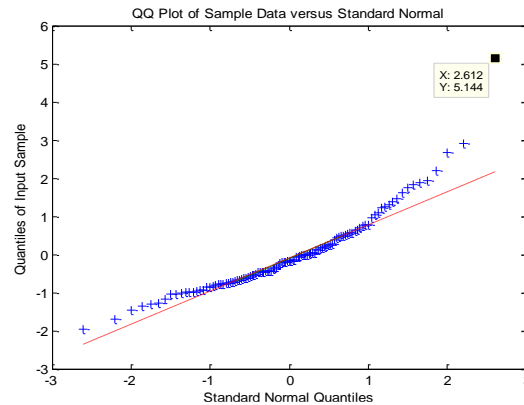
**Figure 1.** The plot of  $\hat{Y}$  vs.  $t_{i(i)}$  for the example 1

Figure 1 shows no sign of a misspecified model or invalidity of the assumptions since the residuals are randomly distributed without any systematic band while showing a couple of positive outliers one of which being very extreme and tagged on the plot. The boxplot of  $t_{i(i)}$  given in Figure 2 also supports the existence of the outliers.



**Figure 2.** The boxplot of  $t_{i(i)}$  for the example 1

The quantile-quantile (Q-Q) plot of  $t_{i(i)}$  under normality is given in Figure 3 which is in fact needed just for the hypothesis testing process and the possible full efficiency of the LS estimators. It also shows the existence of the outliers one of which being very extreme while also showing the approximate normality of the remaining residuals.



**Figure 3.** The Q-Q plot of  $t_{i(i)}$  for the example 1

From all the plots obtained here, we can observe that there are totally 3 outliers one of which being very extreme. These are, from the largest magnitude to the smallest, the 77<sup>th</sup> ( $t_{i(i)}=5.1440$ ), the 34<sup>th</sup> ( $t_{i(i)}=2.8963$ ) and the 23<sup>rd</sup> ( $t_{i(i)}=2.6813$ ) observations. One should discard these observations unless a robust method is utilized. The existence of the outliers may be the reason of the high performance of the S-estimators for this real life data set.

#### 4.2. The real life data example 2

For the second example we will work on the data set obtained from 22 patients who applied to Hacettepe University Hospital in Ankara, the capital city of Turkey [16]. The data set contains 3 independent variables,  $X_1$ ; the amount of the osteocalcin hormone,  $X_2$ ; the amount of the parathyroid hormone and  $X_3$ ; the age. The response variable  $Y$  is the bone mineral density. Again, we assumed the GLR model and the related conditions in the first place

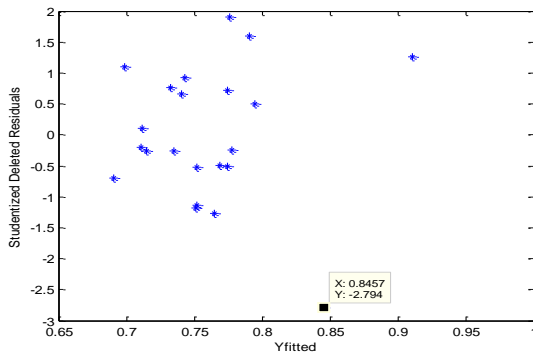


and obtained the estimates depending on them. The estimates are given in Table 15. It is again surprising to see that the best result is obtained by using the S-estimators regarding the  $MSE$  and  $R^2$  although the S-estimators are known to be inefficient compared to the other robust estimators. The  $MSE$  and  $R^2$  values of the other robust estimators are very close to each other. The LS estimators show the poorest performance producing the largest  $MSE$  and the lowest  $R^2$  values.

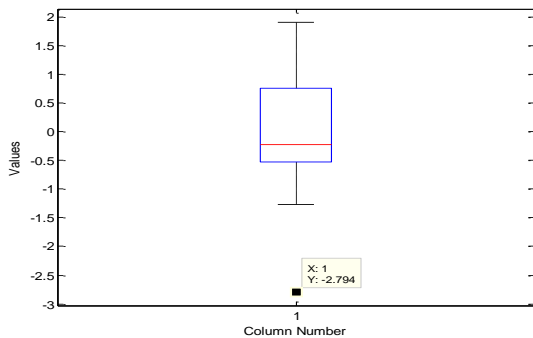
**Table 15.** The regression estimates for the example 2

	LS	Hub. M	Tuk. M	S	MM
$\beta_0$	1.0874	1.0772	1.0856	1.0446	1.0853
$\beta_1$	0.0288	0.0335	0.0340	0.0402	0.0336
$\beta_2$	-0.0022	-0.0024	-0.0024	-0.0025	-0.0024
$\beta_3$	-0.0060	-0.0061	-0.0062	-0.0059	-0.0062
$\sigma^2$	0.0039	0.0031	0.0030	0.0022	0.0032
$MSE$	0.0039	0.0031	0.0029	0.0005	0.0029
$R^2$	0.4029	0.4842	0.5047	0.7424	0.4970

Now we will investigate the validity of the model and the assumptions accepted in the beginning of the study. The plot of  $\hat{Y}$  vs.  $t_{i(i)}$  is given in Figure 4. This plot verifies that the model is right and the assumptions are valid since there is no systematic behavior and any change in the variability of the residuals. We just observe one outlier on the negative side of the residuals, possibly showing an observation which is much smaller than the others. This outlier is also detected by the boxplot given in Figure 5.

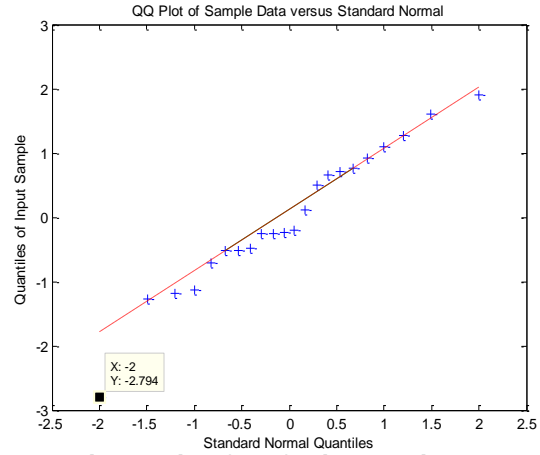


**Figure 4.** The plot of  $\hat{Y}$  vs.  $t_{i(i)}$  for the example 2



**Figure 5.** The boxplot of  $t_{i(i)}$  for the example 2

The Q-Q plot of  $t_{i(i)}$  under normality is given in Figure 6. The Q-Q plot shows that there is one outlier and the rest of the residuals have almost a perfect normal distribution. The outlier is the 7<sup>th</sup> observation with  $t_{i(i)} = -2.7939$ .



**Figure 6.** The Q-Q plot of  $t_{i(i)}$  for the example 2

Again for this real life data set, we can say that the S-estimators may be better because of the existing outlier since they are known with their extreme robustness despite their inefficiency compared to the other robust estimators.

### 5. Discussion and Conclusion

In this study we compared several estimators for the parameters of the GLR model including the LS estimators, the Huber and Tukey M-estimators, the S-estimators and the MM-estimators via simulation by using our own programs written in Matlab. We obtained results consistent with the literature but also found some interesting results to be remarked. The MM-estimators are, in general, the most efficient ones as expected. The S-estimators are the least efficient ones among the robust estimators studied in this paper. The LS estimators are naturally the most efficient ones under normality but too sensitive to the deviations from the assumed models. We have also found that the robust estimators of the variance of the error term are generally biased and in some situations they stay biased despite the increase in the sample size whereas the LS estimator of the variance of the error term is always unbiased. Among the robust estimators of the variance of the error term, the MM-estimator is less biased than the others and its bias tends to get smaller faster compared to the others in most of the situations. In order to be more illustrative, we gave two real life data examples using some extra statistical measures and graphics to check the validity of the GLR model and the assumptions made. We also gave the values of the  $MSE$  and  $R^2$  for the comparison of the estimators mentioned here. Surprisingly, the S-estimators showed brilliant

performance in both examples despite their known low efficiency compared to the other robust estimators. The existence of the outliers may be the reason of this performance. This fact also made the LS estimators the worst of all. The case studies are beneficial for illustration but they are also useful to see that all the real life data sets are original and they have to be considered on their own.

## References

- [1] Neter, J., Kutner, M. H., Nachstheim, C. J., Wasserman, W. 1996. Applied Linear Statistical Models. McGraw-Hill, USA.
- [2] Andersen, R. 2008. Modern Methods for Robust Regression. Thousand Oaks: SAGE Publications.
- [3] Hampel, F. R, Ronchetti, E. M., Rousseeuw P. J. 1986. Robust Statistics. Wiley, New York.
- [4] Rousseeuw, P. 1984. Least Median of Squares Regression. Journal of the American Statistical Association, 79, 871-880.
- [5] Rousseeuw, P., Leroy, M. 1987. Robust Regression and Outlier Detection. Wiley, New York.
- [6] Huber, P. J. 1964. Robust Estimation of a Location Parameter. The Annals of Mathematical Statistics, 35, 73-101.
- [7] Türkay, H. 2004. Doğrusal Regresyon Analizinde M Tahminciler ve Ekonometrik Bir Uygulama. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 106-115.
- [8] Susanti, Y., Pratiwi, H., Sulistijowati, S., Liana, T. 2014. M estimation, S estimation, and MM estimation in robust regression. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 91(3), 349-360.
- [9] Holland, P. W., Welsch, R. E. 1977. Robust Regression Using Iteratively Reweighted Least-Squares. Communications in Statistics-Theory and Methods, 6(9), 813-827.
- [10] Rousseeuw, P., Yohai, V. 1984. Robust Regression by Means of S-Estimators. Robust and Nonlinear Time Series Analysis, edited by J. Franke, W. Hardle, D. Martin, Lecture Notes in Statistics, 26, 256-272, Springer Verlag, Berlin/New York.
- [11] Çetin, M., Toka, O. 2011. The Comparing of S-Estimator and M-Estimators in Linear Regression. Gazi University Journal of Science, 24, 747-752.
- [12] Stuart, C. 2011. Robust Regression. Department of Mathematical Sciences, Durham University.
- [13] Yohai, V. J. 1987. High Breakdown Point and High Efficiency Robust Estimates for Regression. The Annals of Statistics, 15(2), 642-656.
- [14] Mutlu, N. 2018. The Comparison of the Iteration Methods Used in Parameter Estimation, M.Sc. Thesis, Ege University, İzmir.
- [15] Sazak, H. S., Tiku, M. L., Islam, M. Q. 2006. Regression Analysis with a Stochastic Design Variable. International Statistical Review, 74(1), 77-88.
- [16] Çetin, M. C., Orsoy, A. 2001. Doğrusal Regresyonda Sağlam Tahmin Ediciler ve Bir Uygulama. Anadolu University Journal of Science and Technology, 2(2), 265-270.

## Aromatic and Sensorial Properties of Çökelek Cheese Produced by Different Methods

İlhan GÜN\*<sup>1</sup>, Onur GÜNEŞER<sup>2</sup>, Yonca KARAGÜL YÜCEER<sup>3</sup>, Zeynep Banu GÜZEL SEYDİM<sup>4</sup>, Fatma TORUN<sup>5</sup>,  
Sevda ÇAKICI<sup>6</sup>

<sup>1,5,6</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Burdur Food, Agriculture and Livestock Vocational School, Department of Food Processing- Milk and Products Technology Program, 15100 Burdur

<sup>1</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0047-273X>)

<sup>2</sup>Uşak University, Engineering Faculty, Department of Food Engineering, 64000 Uşak

<sup>2</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3927-4469>)

<sup>3</sup>Çanakkale Onsekiz Mart University, Engineering Faculty, Department of Food Engineering, 17020 Çanakkale

<sup>3</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9028-2923>)

<sup>4</sup>Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Food Engineering, 32260 Isparta

<sup>4</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1536-6545>)

(Alınış / Received: 23.05.2018, Kabul / Accepted: 07.11.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 12.03.2019)

### Keywords

Çökelek cheese,  
Aroma active compound,  
GC-Olfactometry

**Abstract:** In this study, it was aimed to reveal aroma-active compounds and sensory properties of Çökelek cheese made from milk, yogurt and Tuluk yogurt. For this purpose, aroma active compounds in Çökelek samples were determined by Gas Chromatography-Olfactometry. Furthermore, sensory properties of cheese samples were determined by *Spectrum*<sup>®</sup> analysis. As result, 17 identified and 2 unknown aroma active compounds were determined in Çökelek samples. Butyric acid, Furaneol<sup>®</sup> and sotolon were identified at high intensities in all cheeses. It was determined that the intensity of butyric acid was higher in Çökelek made from yogurt while the intensities of Furaneol<sup>®</sup> and sotolon were found to be higher in Çökelek made from milk. "Cooked", "Whey", "Creamy", "Rancid" "Fermented", "Yeast", "Sour", "Salty", "Sweet" and "Umami" were defined as characteristic sensory terms for Çökelek cheeses. It was determined that cooked, creamy and sweet were perceived in Çökelek made from yogurt while yeast aroma was found to be a higher in Çökelek made from Tuluk yogurt.

## Farklı Yöntemlerle Üretilen Çökelek Peynirinin Aromatik ve Duyusal Özellikleri

### Anahtar Kelimeler

Çökelek peyniri,  
Aroma aktif bileşen,  
GC-Olfaktometri

**Özet:** Bu çalışmada süt, yoğurt ve tuluk yoğurdundan yapılan Çökelek peynirinin aroma aktif bileşenleri ve duyuşal özelliklerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, çökelek örneklerinin aroma aktif bileşenleri Gaz kromatografi Olfaktometri (GCO) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, peynir örneklerinin duyuşal özellikleri *Spectrum*<sup>®</sup> analizi kullanılarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Çökelek örneklerinde toplam 17 adet tanımlanmış ve 2 adet de bilinmeyen aroma aktif bileşen belirlenmiştir. Bütirik asit, Furaneol<sup>®</sup> ve sotolon gibi bileşenlerin çökelek örneklerinde yüksek yoğunlukta olduğu tespit edilmiştir. Bütirik asitin aroma yoğunluğunun yoğurttan üretilen çökelekte en yüksek olduğu, Furaneol<sup>®</sup> ve sotolonun ise süttten yapılan çökelek peynirlerinde yüksek olduğu belirlenmiştir. Çökelek peynirleri için belirlenen karakteristik duyuşal terimler "Pişmiş", "Peyniraltı suyu", "Kremamsı", "Ransit", "Fermente", "Maya", "Ekşi", "Tuzlu", "Tatlı" ve "Umami"dir. Yoğurttan yapılan çökelek peynirlerinde pişmiş, kremamsı ve tatlı özelliklerin daha yüksek algılandığı, Tuluk yoğurdundan yapılan çökeleklere ise maya aromasının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

### 1. Introduction

Çökelek cheese is a type of cheese produced in almost every region in Turkey. Although, it can be produced

from milk products such as milk and yogurt, it can also be obtained by filtering the curd produced from buttermilk (yayık ayran) [1, 2]. The curd produced by this method can be used as a supplementary raw

material in the production of some Kúp and skin Tulum cheeses. Çökelek cheese, is known as "Ekşimik" in Western Anatolia and Trakya region, "Keş", "Kesik" or "Urda" in the Mediterranean region, "Minzi" or "Minci" in the Eastern Black Sea region, and "Jaji", "Cacik" and "Torak" in the Eastern Anatolia Region [1, 3-5].

There were many studies on the physical, chemical and microbiological properties of the Çökelek cheeses produced in Turkey [1, 6, 7]. For instance, Ağaoğlu et al. [6] determined the average moisture, fat, protein, ash, acidity values and aerobic mesophilic bacteria and yeast counts of 25 Çökelek cheese samples produced in Van and its region as 81.84%, 1.2%, 8.04%, 0.94%, 1.2% lactic acid,  $9.8 \times 10^6$ , and  $1.3 \times 10^5$  cfu/g, respectively. The average chemical composition and microbiological properties of 14 Çökelek cheeses available in the market in Antalya and Burdur had 28.55% in dry matter, 17.48 ° SH acidity, 3.54% fat, 0.9% salt,  $1 \times 10^1$  cfu/g total bacteria,  $2 \times 10^3$  cfu/g yeast-mold,  $8.8 \times 10^2$  cfu/g coliform bacteria, and  $5.1 \times 10^2$  cfu/g *S. aureus*. Moreover, 50% of the Çökelek samples examined were reported to contain *E. coli* [1]. Önganer and Kırbağ [7] studied fresh consumed Çökelek cheeses in Diyarbakır. It was reported that the total count of microorganisms in this cheese was 8.49 log cfu/g, the heterofermentative lactic acid bacteria were 8.58 log cfu/g, the psychrophilic bacteria were 8.51 log cfu/g, the proteolytic microorganisms were 8.49 log cfu/g, yeast-mold count was 6.67 log cfu/g, *S. aureus* was 7.53 log cfu/g, *Salmonella* spp. was 7.80 log cfu/g, *Bacillus* spp. was 7.70 log cfu/g, and *Clostridium* spp. was 7.81 log cfu/g.

There are limited studies investigating the aroma profile and sensory properties of Çökelek cheese-focused on studying the production technique and some physical, chemical and microbiological properties. The use of yogurt as a raw material in many regions, different storage conditions, and the use of different storage materials significantly affect the aromatic and sensory properties of the Çökelek cheese. Şimşek and Sağdıç [8] investigated that the effect of starter culture types and different temperature treatments on some properties of Çökelek cheese produced from goat milk. The researchers found that çökelek cheeses produced with yoghurt culture applying 95°C for 30 min had lowest saturated fatty acid content and the highest appearance and flavour scores. Another study by Güler [9], it was revealed that the profiles of organic acid and volatile compounds of Surk cheese which is artisanal çökelek with herbs and spices in Hatay region in Turkey. For Surk cheese, butanoic acid, hexanoic acid, octanoic acid, decanoic acid were found to be as major acids while carvacrol,  $\gamma$ -terpinene, p-cymene and eugenol were major phenolics

Several researchers also investigated aroma and sensory properties of some traditional cheeses like Çökelek Cheese in Turkey. In this context, Şimşek and Tuncer [10] investigated fresh and traditional Akcakatik Cheese made from by drying strained yogurt with or without adding cloves or black cumin. The researcher found that acetaldehyde, diacetyl, ethanol and ethyl acetate are major flavor compounds of Akcakatik cheese. Moreover, it was found that ripened Akcakatik cheese had a higher intensity of diacetyl and acetaldehyde than the fresh Akcakatik cheese samples. In another study, volatile and sensory properties of traditional Dolaz (Tort) cheese made from whey by Okur and Güzel-Seydim [11], it was found that acetaldehyde, acetone, ethanol, acetic acid, diacetyl and 1-butanol were major volatile compounds in Dolaz cheese while soft, yellowish-light brown color, granular structure were defined as characteristic appearance terms for Dolaz cheese. Hayaloglu et al. [12] determined about 100 volatile compounds in Tulum cheese ripened in Goat's Skin or Plastic Bags for 90 days. The researcher found that the main volatiles were short-chain fatty acids as butanoic acid, 2-methyl propanoic acid, 3-methyl butanoic acid, ketones as 2-butanone, 2-heptanone and diacetyl, and primary alcohols as 3-methyl 1-butanol, 2-butanone and 2-methyl 1-propanol, aldehydes as acetaldehydes and 2-propanal and esters as 3-methylbutyl acetate, ethyl butanoate and ethyl lactate.

It is important to characterize the aromatic profiles and sensory properties of foods [13], particularly when the properties governing flavor and the appearance and structural characteristics of a food play a significant role in its value [14]. The characterization of the aromatic profiles and sensory properties of dairy products such as cheese, yogurt, and kefir, can improve and/or standardize the methods of producing the product preferred by consumers and control the product's originality and authenticity, for example, the ripening period required in cheese or the determination of its quality [15].

This study aimed to determine flavor compounds profile and sensory properties of Çökelek cheeses produced by three different methods by using instrumental and sensory analysis.

## 2. Material and Method

In the present study, Çökelek cheese produced from cow milk, yogurt and Tuluk yogurt (cow milk kept in a goat skinbag (Tuluk) for 20 days) Aroma authentic standards used in the study were obtained from Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo., USA), Merck (Darmstadt, Germany), Bedoukian Research Inc. (Danbury, CT, USA), and Aromsa (Gebze, Kocaeli). Milk Çökelek cheeses were symbolized as MC (milk

Çökelek), YC (yogurt Çökelek), and TC (Tuluk yogurt Çökelek).

## 2.1. Preparation of Tuluk

For the preparation of Tuluk, 6-7 months-old female goat skin prepared by shaving and dry salting method for at least 3 months were used. The excess fat and meat pieces on the skin were removed, feet and arm parts of the skin were tied, the bottom part was covered with rope and wooden rods using a special technique and readied for use (Figure 1 and Figure 2). The bottom part of the Tuluk is closed with rope and wooden rod by a special technique.

## 2.2. Cheese production

The Çökelek cheese is a lactic acid clot; therefore, its characteristics are different from other cheeses. The production of the Çökelek cheese was carried out in April-May. The production stages of Çökelek cheeses was shown in Figure 3. Cheese production was carried out in two replications.

## 2.3. Determination of aroma-active compounds

The samples were analysed by using solid phase microextraction (SPME) method [16] and gas chromatography-olfactometry [17]. 3 g of cheese sample was prepared with a PTFE / silicone septa cap and amber (Perkin-Elmer) coloured 40 mL vials were weighed and 1 g NaCl was added. The sample was kept in a 40°C water bath for 30 minutes to stabilize the flavor of the aroma substances in the headspace. Subsequently, SPME fiber (2 cm-50/30 µm DVB / Carboxen / PDMS stable flex, Supelco, Bellefonte, USA) was immersed in the vial crown and incubated at 40 °C for 30 min and stained with fiber GCO (6890, Agilent Technologies, Wilmington, and aroma compounds were determined by injection of SPME fiber to GC-O. HP-INNOWAX (30 m x 0.25 mm internal diameter (id) x 0.25 µm film thickness) column was used in the GCO (J & W Scientific, Folsom, CA, USA). GC conditions; carrier gas: Helium, inlet pressure: 11.54 psi, total flow: 54.1 ml/min, flame ionization detector temperature: 250°C, oven temperature program: Initial temperature and duration: 40°C, 3 minutes, Ramp: 10 C/ min, final temperature and duration: 200°C 25 minutes [18].

The GCO procedure was conducted by an experienced panelist in two replicates. The concentrations of the aroma active compounds in the Çökelek cheeses were measured on a 10-point scale (0: not present-10: very high). The definitions of the aroma active ingredients are provided by both the retention index determined under GCO conditions and by smelling the authentic standards under the same conditions [19].

## 2.4. Sensory analyses

The sensory properties of the Çökelek samples were determined by *Spectrum*<sup>®</sup> analysis [20]. Sensory evaluations were performed by a panel of 7 experienced (4 male and 3 female experts, aged 24-45 years) individuals. The intensities of the terms determined in the samples by panel members were evaluated on a 10-point scale (0 = very low, 10 = very intense). Çökelek samples were presented to the panelists randomly and in two replicates, encoded with 3 different codes in white plastic plates at room temperature. Reference materials and sensory terms used for the evaluation of cheese samples were presented in Table 1.

**Table 1.** Sensory terms and references (Meilgaard et al. [20]).

Descriptor	References
Cooked	Milk heated to 85°C for 30 min
Whey	Whey powder solution (5%)
Creamy	Dairy cream or butter
Rancid	10 µL butyric acid/methanol
Fermented	Fresh yogurt
Yeast	Dough
Fruity	Peach, apricot.
Sour	0.08% Citric acid
Salty	0.5% Sodium chloride
Sweet	2% saccharose
Umami	1% monosodium glutamate

## 2.5. Statistical analysis

One-way ANOVA analysis was used in the study to determine the differences in the aroma-active components and sensory characteristics of cheese samples. TUKEY multiple comparison (TUKEY-HDS) test was used to determine significant differences



**Figure 1.** Preparation of Tuluk (Goat Skin Bag)



Figure 2. Production of çökelek cheese

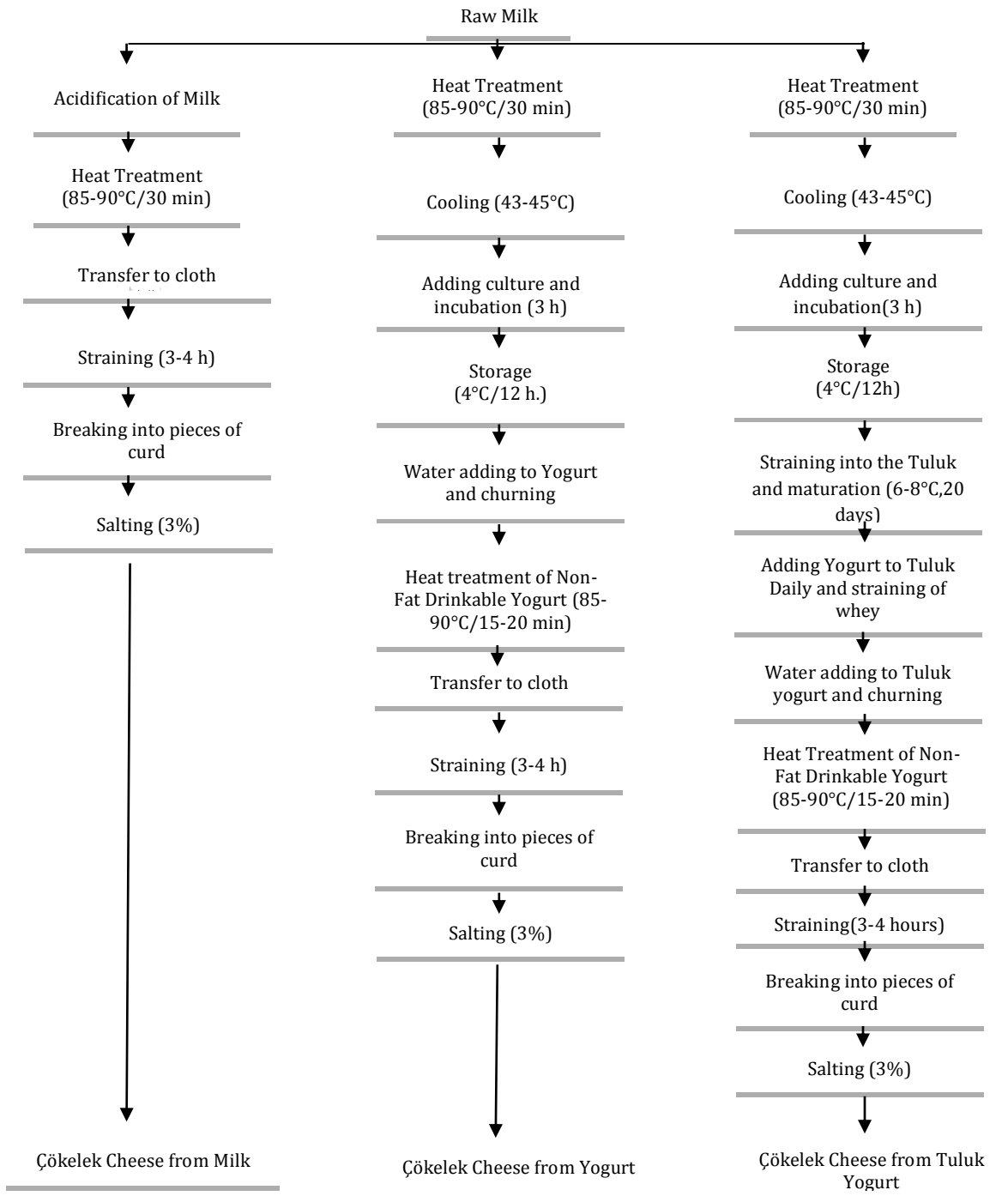


Figure 3. Production Steps of Çökelek Cheese made by different methods

between samples [21]. SPSS for Windows (version 20.0) statistical package program was used for the statistical analyses.

### 3. Results and Discussion

The flavor of fresh cheeses usually comes from the carbonyl compounds such as acetaldehyde and diacetyl, which are the result of lactose or citrate fermentation of starter bacteria used during production [22]. In this study, the intensity of aroma active compounds of freshly consumed and differently produced Çökelek cheeses were determined. Aroma active compounds determined in the Çökelek cheeses were presented in Table 2.

Seventeen active aroma compounds were detected in cheese samples. The specified aroma-active compounds including acid, aldehyde, ketone, ester, lactone, and sulphur type compounds. The two aroma components of the aroma components identified in the cheese leaves are not identifiable as chemical substances. The intensity of the common active aroma compounds of the samples produced by all three methods were also determined at different levels. The differences observed in the active aroma compounds of the Çökelek samples produced by different methods vary depending on the fermentation process and the method of production. It was determined that butyric acid (cheese, acid), Furaneol® (burned sugar) and sotolon (spice, burnt) were at higher intensity in comparison with other aroma active compounds in all Çökelek cheese samples (Table 2). The aroma intensity of butyric acid in MC was found to be lower ( $P < 0.05$ ) than YC.

The aroma intensity of the butyric acid in Tuluk Çökelek was found to be similar to the density of the MC sample ( $P > 0.05$ ). This differences can be based on hydrolysis rate of free fatty acids in Çökelek samples. It is well known butyric acid is formed by hydrolysis of free fatty acid and mostly identified in ripened cheeses [12, 15, 17].

Sotolon and Furaneol® are particularly susceptible to thermal degradation of sugars and Maillard reactions, both of which can be detected in heat-treated milk and dairy products (by thermal degradation of lactose). Furaneol® associated with caramel and / or burned sugar flavor [17, 24]. The intensity of Furaneol® in the samples of MC, YC, and TC was 4.38, 1.38, and 1.38, respectively. Furaneol® intensity of MC sample was higher than the other Çökelek samples ( $P < 0.05$ ). The intensity of the sotolon which is associated with the spice and burnt aroma was determined the highest in MC (3.5). There was no significant difference ( $P > 0.05$ ) between MC and YC samples in terms of *D*-decalactone (peach) ( $P < 0.05$ ). The intensity of this aroma in the TC sample was higher (1.08) compared with the MC and YC ( $P < 0.05$ ). This differences can be attribute to differences of the cheese making procedures.

Ethylbutyrate, ethylpentanoate and 2-phenylethanol (rose) were not detected in MC. However, the intensities of these aroma compounds were similar for YC and TC samples ( $P > 0.05$ ). Moreover, the intensity of hexanoic acid (sweaty, sour) in the YC sample was found to be higher than that in the TC sample ( $P < 0.05$ ). Conversely, 2-methyl butyric acid (sweaty, acid) and *p*-cresol (animal), which are

**Table 2.** Aroma active compounds of Çökelek cheeses

RI	Volatiles	Aroma Quality <sup>a</sup>	Aroma Intensity <sup>b</sup> (Mean± S.D)		
			Çökelek Cheeses		
			MC	YC	TC
805	Dimethylsulfide	Sulphur	Nd	1.50±0.75	Nd
980	Unknown 1	Ester, apple	Nd	0.20±0.17	Nd
1051	Ethylbutyrate	Fruity, apple	Nd	0.50±0.00 <sup>a</sup>	0.50±0.00 <sup>a</sup>
1133	Ethylpentanoate	Bubble gum	Nd	0.38±0.21 <sup>a</sup>	0.33±0.17 <sup>a</sup>
1198	Ethylhexanoate	Fruity, sweet	Nd	0.38±0.21 <sup>a</sup>	0.33±0.17 <sup>a</sup>
1362	(Z)-1,5-octadien-3-one	Metallic, dirty	Nd	0.45±0.13 <sup>a</sup>	0.25±0.03 <sup>b</sup>
1501	Methional	Potatoes	1.45±0.38 <sup>b</sup>	2.00±0.35	3.38±0.32 <sup>a</sup>
1530	Butyric acid	Acid, sour	2.35±0.95 <sup>b</sup>	4.13±0.19 <sup>a</sup>	3.38±0.65 <sup>ab</sup>
1559	2-methyl butyric acid	Sour, acid	Nd	Nd	2.25±0.65
1662	Phenyl acetaldehyde	Rose, flower	Nd	Nd	0.25±0.13
1769	2-acetyl 2-tiazoline	Popcorn	0.75±0.31	Nd	Nd
1859	2-phenylethanol	Rose, sour	Nd	1.25±0.65 <sup>a</sup>	1.08±0.42 <sup>a</sup>
1899	Hexanoic acid	Sweaty, sour	Nd	2.50±0.25 <sup>a</sup>	0.75±0.28 <sup>b</sup>
1964	Furaneol	Burnt sugar	4.38±0.94 <sup>a</sup>	1.38±0.32 <sup>b</sup>	1.38±0.21 <sup>b</sup>
2055	Unknown 2	Fishy	0.50±0.00	Nd	Nd
2068	<i>p</i> -cresol	Barny	Nd	Nd	0.40±0.20
2145	Sotolon	Herb, burnt	3.50±0.56 <sup>a</sup>	1.75±0.22 <sup>b</sup>	1.88±0.32 <sup>b</sup>
2249	<i>D</i> -decalactone	Peach, fruity	0.40±0.2 <sup>b</sup>	0.50±0.31 <sup>b</sup>	1.08±0.28 <sup>a</sup>
2369	$\gamma$ -dodecalactone	Sweet	1.13±0.45 <sup>b</sup>	3.08±0.35 <sup>a</sup>	1.63±0.21 <sup>b</sup>

MC; Milk Çökelek, YC: Yogurt Çökelek, TC: Tuluk Çökelek RI: retention index on HP-INNOWAX column, <sup>a</sup>: aroma quality determined on olfactory port, <sup>b</sup> aroma intensity (10 point scale), S.D: standard deviation. Nd: Not Detected

expressed as the off-flavour in dairy products were detected only in MC. Unknown compound 6 was detected only in the TC sample. This unknown compound was associated with fishy aroma by GC-O panelists. Moreover, the unknown compound 2 that was associated with ester/apple aroma was detected at a significant level only in the YC sample. The active aroma active compounds of Çökelek cheese involve the esterification of ethyl butyrate, ethyl pentanoate, and ethyl hexanoate; and the degradation of methionine and 2-methyl butyric acid protein and amino acids with the degradation of butyric acid, hexanoic acid and lactone-derived decalactone, particularly fatty acids [18, 23, 24]. The 2-methyl butyric acid from the aroma components was found to be high only in the sample of TC. This was associated with the possibility that the fermentation can continue in tuluk and the proteins may be broken up at a later stage.

In general, the aroma detected in all three Çökelek samples is due to the active aroma components detected in many dairy products [17,18, 22, 24, 25]. In a study conducted by Ercan et al. [25], the intensity of butyric acid, decanoic acid (sour, candle), hexanoic acid, ethyl hexanoate (sour orange) and 2-butenedial (cheesy) aroma-active components in sepet cheese collected from the Aegean region were high. Avşar et al. [15] found that in the Erzincan tulum cheese, some of the Çökelek cheeses contained high levels of acetic acid (vinegar), butyric acid, 3-methyl butanoic acid (sweaty), propanoic acid (cheesy, sweaty), diacetyl (butter), hexanal, ethyl butanoate, ethyl hexanoate and methionine in the Erzincan Tulum cheese. Another study [26] reported that the intensity of diacetyl, butyric acid, hexanoic acid, ethyl butanoate, ethyl hexanoate, 3-methyl butyric acid (cheese cloth, oily) aromas was high in Gruyere, Manchego and Ragusano cheese ripened for 12 months.

The sensory properties determined by the panel members for the Çökelek cheeses were shown in Table 3. The aromatic terms specified for the Çökelek

cheeses are "cooked", "whey", "creamy", "rancid", "fermented" and "yeasty". Taste terms are "sour", "salty", "sweet" and "umami". Significant differences were found between Çökelek samples in terms of cooked, creamy, fermented, yeast aromas and also sour, salty and sweet tastes. ( $P<0.05$ ). According to this observations, the scores of cooked, creamy and sweet in MC were found to be a higher than the other Çökelek samples ( $P<0.05$ ). Fermented aroma was perceived lower in MC samples than other samples ( $P<0.05$ ), whereas the yeast aroma was perceived higher in TC samples than in other samples ( $P<0.05$ ). These results probably based on the ripening of yogurt in Tuluk and its subsequent use in Çökelek cheese production.

TC samples were found to be saltier and sour than the other samples probably due to long fermentation stage of Tuluk yogurt. The sweetness intensity was determined in the Çökelek cheese produced from cow milk ( $P<0.05$ ). The aroma and taste terms for the Çökelek cheeses are determined by panelists as the basic sensory terms in many dairy products, similar to aroma active ingredients [15, 18, 27]. Drake et al. [27] identified cooked, whey, creamy, sulphur, brothy, salty, sweet, sour and bitter taste characteristics in 11 different cheddar cheeses. In another study [28], sharp, milky, rennet, creamy and toasty aromatic properties were determined in Idiazabal, Manchego, Roncal and Zamorano cheeses produced in Spain. Leuven et al. [29] found creamy, fruity, nutty, pungent and animal aroma characteristics and sweet, salty sour and bitter (caffeine) taste characteristics in Gouda-type cheeses. The study determined that sweet, bitter flavor characteristics and fruity and nutty aromas were high in Gouda type cheeses made from raw milk and ripened in 6 weeks while the sour taste and sharp aroma were high in cheeses produced from pasteurized milk. The characteristic aroma and flavor characteristics of the Ezine cheese produced in Turkey are expressed as cooked, creamy, whey, rancid, goatish, animal, fermented, sour, salted and umami [30]. In addition to similar taste and aroma properties, sulphur, yeasty/ moldy, bitter (caffeine), acrid, nasal and tongue burner and tongue biting aroma and taste characteristics were determined in Erzincan Tulum cheese, while aroma and taste characteristics similar to Ezine cheese including sulphur, nutty, meat juice-like, mold and tongue biting sensory properties were determined in Kars Kaşar cheese [15].

Although there are many studies on the volatile components of traditional dairy products produced in Turkey, studies on the determination of the flavor components and their sensory properties had the highest effect on the aroma profile and a limited effect in that of the volatile components. Other widely consumed cheese varieties include white cheese, cheddar cheese, and Tulum cheese. In this study, it

**Table 3.** Sensory properties of Çökelek cheeses

Sensory properties	Çökelek Cheeses (Mean ± S.D)		
	MC	YC	TC
Cooked	4.23±0.24 <sup>a</sup>	2.46±0.22 <sup>b</sup>	2.68±0.28 <sup>b</sup>
Whey	2.70±0.25 <sup>a</sup>	2.65±0.22 <sup>a</sup>	2.78±0.32 <sup>a</sup>
Creamy	2.74±0.35 <sup>a</sup>	1.28±0.26 <sup>b</sup>	1.13±0.19 <sup>b</sup>
Rancid	0±0	1.04±0.26 <sup>a</sup>	0.70±0.26 <sup>a</sup>
Fermented	1.07±0.30 <sup>b</sup>	2.59±0.26 <sup>a</sup>	2.72±0.24 <sup>a</sup>
Yeast	0.04±0.04 <sup>c</sup>	0.73±0.32 <sup>b</sup>	1.50±0.36 <sup>a</sup>
Fruity	0.08±0.04 <sup>b</sup>	0.39±0.12 <sup>a</sup>	0±0
Sour	0.84±0.21 <sup>b</sup>	3.14±0.25 <sup>a</sup>	3.80±0.27 <sup>a</sup>
Salty	1.14±0.18 <sup>b</sup>	2.11±0.20 <sup>a</sup>	2.51±0.17 <sup>a</sup>
Sweet	2.03±0.31 <sup>a</sup>	0.89±0.13 <sup>b</sup>	0.82±0.13 <sup>b</sup>
Umami	0.08±0.05 <sup>a</sup>	0.10±0.06 <sup>a</sup>	0.18±0.02 <sup>a</sup>

MC; Milk Çökelek, YC: Yogurt Çökelek, TC: Tuluk Çökelek, S.D:standard deviation



was determined that the Çökelek cheeses made by using different production techniques and raw materials had a higher amount of active aroma components than those produced using milk and yogurt. In terms of sensory properties, it was determined that the MC samples had cooked, creamy and sweet characteristics, whereas the TC samples had a higher yeast aroma. The yogurt fermentation process, which is preserved in tuluk and produced by removing its serum, continues and the level of proteolysis changes. Similar studies in other traditional cheese types are also significant in terms of presenting the product quality and sensory qualities.

#### 4. Conclusion

In this study, it was determined that sensory and aroma characterization of Çökelek cheese, which produced by different raw materials There were significant differences in profiles of aroma active compounds and sensory properties of Çökelek cheeses, and variations were observed among the cheeses based on the production methods. It was determined that Total 19 aroma-active compounds were found in the cheese samples. Ester type aroma active compounds were found in cheese samples at lower intensity while butyric acid, methional,  $\gamma$ -dodecalactone and Furaneol® major aroma-active compounds with higher intensity for Çökelek cheeses. Eleven sensory attributes were developed in Çökelek cheese by panel members. Cooked, Whey, Creamy and Sweet were the most characteristic terms for Çökelek cheese. Similar studies in other traditional cheese types are also significant in terms of presenting the product quality and sensory qualities.

#### References

- [1] Kırdar, S. S. 2004. Çökelek Peyniri Üzerine Bir Araştırma. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 23-24 Eylül, Van, 357-361.
- [2] Simsek, B., Sağıdıç, O. 2010. Determination of Fatty Acids and Chemical Characteristics of Çökelek Cheese from Cows Milk Using of *L. helveticus* and/or Yoghurt Bacteria. Food Science and Technology Research, 16 (2010), 179- 184.
- [3] Ünsal, A. 2000. Süt Uyuyunca; Türkiye Peynirleri, Yapı-Kredi Yayınları, İstanbul. 211s.
- [4] Karaca, O. B., Güven, M. 2004. Çökelek Peyniri ve Çökelek Kullanılarak Yapılan Bazı Yöresel Peynir Çeşitleri, Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 23-24 Eylül, Van, 242-246.
- [5] Durlu-Özkaya, F., Gün, İ. 2014. Aroma Compounds of Some Traditional Turkish Cheeses and Their Importance for Turkish Cuisine, Food and Nutrition Sciences, 5 (2014), 425-434.
- [6] Ağaoglu, S., Ocak, E., Mengel, Z. 1996. Van Ve Yöresinde Üretilen Çökeleklerin Mikrobiyolojik, Kimyasal, Fiziksel ve Duyusal Nitelikleri Üzerinde Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 44 (1996), 1-6.
- [7] Önganer, A. N., Kırbağ, S. 2009. Diyarbakır'da Taze Olarak Tüketilen Çökelek Peynirlerinin Mikrobiyolojik Kalitesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25 (2009), 24 - 33.
- [8] Şimsek, B., Sağıdıç, O. 2012. Effects of Starter Culture Types and Different Temperatures Treatments on Physicochemical, Microbiological and Sensory Characteristics, and Fatty Acid Compositions of Çökelek Cheese Made from Goat Milk, Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 18 (2012), 177-183.
- [9] Güler, Z. 2014. Profiles of Organic Acid and Volatile Compounds in Acid-Type Cheeses Containing Herbs and Spices (Surk Cheese), International Journal of Food Properties, 17 (2014), 1379-1392.
- [10] Şimşek, B., Tuncer, Y. 2018. Some Properties of Fresh and Ripened Traditional Akcakatik Cheese. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 38 (1), 110-122.
- [11] Okur, Ö. D., Güzel-Seydim, G. 2011. Determination of Production Method, Microbial and Volatile Flavor Components and Sensory Properties of Traditional Dolaz Cheese. Gıda, 36(3), 83-88.
- [12] Hayaloglu, A. A., Cakmakci, S., Brechany, E.Y., Deegan, K. C., McSweeney, P.L.H.2007. Microbiology, Biochemistry and Volatile Composition of Tulum Cheese Ripened in Goat's Skin or Plastic Bags. Journal of Dairy Science, 90 (2007), 1102-1121.
- [13] Drake, M. A, Civille, G. V. 2003. Flavor Lexicons. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2 (2003), 33-40.
- [14] Reineccius, G. 1994. The flavor chemistry. ss 61-115. Reineccius, G., ed. 1994. Source Book of Flavors Aspen Publisher, Maryland, ABD, 915s.
- [15] Avcı, Y. K., Karagül-Yüceer Y., Akdemir-Evrendilek, G, Eştürk, O. 2009. Ekonomik öneme sahip geleneksel peynirlerimizin (Erzincan Tulum peyniri, Ezine Beyaz peyniri, Kars Kaşar peyniri, İzmir Tulum peyniri) aroma profilinin belirlenmesi ve orijinalitesinin/kalitesinin belirlenmesinde potansiyel aroma-aktif maddelerin kullanılması. Proje No: 104-O-530 TÜBİTAK, Ankara.
- [16] Pawliszyn, J. 2012. Theory of solid phase microextraction. ss. 13-57. Pawliszyn J., ed. 2012. Handbook of Solid Phase Microextraction, (Chief Editor), Waltham, Elsevier Inc, MA, USA, 478s.

- [17] Guneser, O, Yuceer, Y. 2011. Characterisation of Aroma-active Compounds, Chemical and Sensory Properties of Acid-coagulated Cheese: Circassian Cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 64 (2011), 517-525.
- [18] Güneşer, O., Yüceer, Y. 2010. Keçi Sütünün Kefir Üretiminde Kullanılması: Fiziksel, Kimyasal ve Duyusal Özellikler. *Ulusal Keçicilik Kongresi*, 24-26 Haziran, Çanakkale, 12-16.
- [19] Van den Dool, H., Kratz, P. D. 1963. A Generalization of the Retention Index System Including Linear Temperature Programmed Gas Liquid Partition Chromatography. *Journal Chromatography A*, 11(1963), 463-471.
- [20] Meilgaard, M, Civille, G.V, Carr, B. T. 1999. *Sensory Evaluation Techniques*, CRC Press, Inc. Boca Raton, FL. 448s.
- [21] Sheskin, D. J. 2004. *Parametric and Nonparametric Statistical Procedures*. Chapman & Hall/CRC, New York, USA. 54s.
- [22] Jo, Y., Benoist, D. M., Ameerally, A., Drake, M. A. 2018. Sensory and Chemical Properties of Gouda Cheese, *Journal of Dairy Science*, 101 (2018), 1967-1989.
- [23] Curioni, P. M. G., Bosset, J. O. 2002. Key Odorants in Various Cheese Types as Determined by Gas Chromatography-Olfactometry. *International Dairy Journal*, 12 (2002), 959-984.
- [24] Tunick, M. H. 2014. *The Science of Cheese*. Oxford University Press, NewYork. 281s.
- [25] Ercan, D., Korel, F., Karagül-Yüceer, Y., Kınık, O. 2011. Physicochemical, Textural, Volatile, and Sensory Profiles of Traditional Sepet cheese. *Journal of Dairy Science*. 94 (2011), 4300-4312.
- [26] Mallia, S., Fernández-García, E., Olivier Bosset, J. 2005. Comparison of Purge And Trap and Solid Phase Microextraction Techniques for Studying the Volatile Aroma Compounds of Three European PDO Hard Cheeses. *International Dairy Journal*, 15 (2005), 741-758.
- [27] Drake, M. A, Gerard, P. D., Kleinhenz, J. P, Harper, W.J. 2003. Application of an Electronic Nose to Correlate with Descriptive Sensory Analysis of Aged Cheddar Cheese. *LWT- Science and Technology*, 36 (2003), 13-20.
- [28] Barron, L. J. R., Redondo, Y., Flanagan, C. E., Pérez-Elortondo, F. J., Albisu, M., Nájera, A. I., Renobales, M., Fernández-García, E. 2005. Comparison of the Volatile Composition and Sensory Characteristics of Spanish PDO Cheeses Manufactured from Ewes' Raw Milk and Animal Rennet. *International Dairy Journal*, 15 (2005), 371-382.
- [29] Van Leuven, I., Van Caelenberd, T., Birinck, P. 2008. Aroma Characterisation of Gouda-Type Cheeses. *International Dairy Journal*, 18(2008), 790-800.
- [30] Karagul Yuceer, Y., Tuncel, B., Guneser O, Engin, B., Isleten, M., Yasar, K., Mendes, M. 2009. Characterization of Aroma-Active Compounds, Sensory Properties, and Proteolysis in Ezine Cheese. *Journal of Dairy Science*, 92 (2009), 4146-4157.

## Bazı Fenolik Bileşiklerin Yoğunluk Fonksiyonu Yöntemi ile Antioksidan Aktivitelerinin Tayin Edilmesi

Vildan ENİSOĞLU ATALAY<sup>\*1</sup>, Hatice OCAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Üsküdar Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, 34662, İstanbul

<sup>1</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9830-9158>)

<sup>2</sup>İstanbul Protein Araştırma Geliştirme ve İnovasyon ve Araştırma Merkezi (PROMER), İstanbul

<sup>2</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0866-5923>)

(Alınış / Received: 02.07.2018, Kabul / Accepted: 29.01.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 15.03.2019)

### Anahtar Kelimeler

B3LYP,  
Antioksidan aktivite,  
HAT,  
SET-PT,  
SPLET,  
DFT

**Özet:** Oksidatif stresin başta kanser olmak üzere ateroskleroz, hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalıklar gibi pek çok hastalığın patogeneğinde rol oynadığı çeşitli araştırmalar sonucunda görülmüştür. Fenolik bileşikler ise insan sağlığı bakımından antioksidan fonksiyonları ile ön plana çıkan maddelerdir. Fenolik antioksidanların serbest radikaller ile reaksiyona girme eğilimi antioksidan aktiviteyi tanımlamaktadır. Bu çalışmada 10 adet fenolik bileşik gaz etanol ve su fazlarında Spartan 14 programı ile DFT//B3LYP metodu ve 6-31+G(d) temel seti ile HAT, SET-PT ve SPLET oksidasyon mekanizmaları gaz, su ve etanol fazlarında modellenmiştir. Elde edilen verilere göre BDE, ETE, PA, IP, PDE ve  $\Delta(E_{\text{HOMO}}-E_{\text{LUMO}})$  değerleri hesaplanarak antioksidan aktiviteleri sıralanmıştır. Yapılan hesaplamalardan elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde bileşik 1 olarak tanımlanan 2-hexadecyl-2,5,7,8-tetramethylchroman-6-ol molekülünün antioksidan aktivitesi çalışılan yöntem ve fazlarda en yüksek olarak bulunmuştur.

## Determination of Antioxidant Activities by Density Function Method of Some Phenolic Compounds

### Keywords

B3LYP,  
Antioxidant activity,  
HAT,  
SET-PT,  
SPLET,  
DFT

**Abstract:** Oxidative stress is implicated in various disease pathologies including cancer, atherosclerosis, hypertension, and cardiovascular disease. Phenolic compounds have antioxidant functions in terms of human health. The tendency of phenolic antioxidants to react with free radicals identifies their antioxidant activity. In this study, HAT, SET-PT and SPLET oxidation mechanisms were modeled in the gas, water and ethanol phases with the DFT // B3LYP method and 6-31+G(d) basis set with 10 phenolic compounds using Spartan 14. Antioxidant activities were ranked by calculated BDE, ETE, PA, IP, PDE and  $\Delta(E_{\text{HOMO}}-E_{\text{LUMO}})$  values according to the obtained data. The antioxidant activity of 2-hexadecyl-2,5,7,8-tetramethylchroman-6-ol, identified as compound 1, was found to be highest in the methods and phases studied when all the results obtained from the calculations made were evaluated.

### 1. Giriş

Oksidatif stres, antioksidanların yetersizliği sonucu oksidatif dengenin bozulması sonucu meydana gelen hücre ve doku hasarı veya hücre ölümleri olarak tanımlanmaktadır [1-3]. Serbest radikaller gıda oksidasyonunda önemli bir rol oynar ve olması gerekenden çok artış gösterdiğinde meydana gelen oksidatif stres kardiyovasküler hastalıklar, kanser, solunum ve boşaltım bozuklukları, diyabet, yaşlanma gibi birçok rahatsızlığa sebep olmaktadır [4, 5].

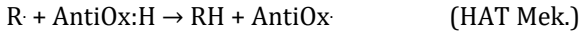
İnsan sağlığı bakımından antioksidan fonksiyonları ile ön plana çıkan maddeler E ve C vitaminleri, karotenoidler ve fenolik maddelerdir. Serbest radikaller ile reaksiyona girerek uzaklaştıran fenolik antioksidanlarda hidroksil grubunun yeri, sübtitüe grupların özelliği ve hidrojen bağı oluşumu gibi aktiviteyi etkileyen birçok faktör yapı-aktivite ilişkileri (SAR) ile bulunmuştur [6]. Fenolik maddeler aromatik hidrokarbon yapısında bir veya daha fazla hidroksil grubu içeren oldukça önemli bir madde grubudur [7]. Teorik bir parametre olan ve fenolik

\*İlgili yazar: [vildan.enisoglu@uskudar.edu.tr](mailto:vildan.enisoglu@uskudar.edu.tr)

antioksidandan H atomu koparılmasından sonra üretilen serbest radikal arasındaki oluşum ısı farkı( $\Delta H$ ), antioksidanların aktivitesini ölçmek için iyi bir indeks olarak ortaya çıkmıştır [8]. Öte taraftan literatürde antioksidan aktivite tayininde kullanılan üç ana antioksidan mekanizma vardır: hidrojen atomu transfer (HAT), tek elektron ve proton transfer (SET-PT) ve sıralı proton kaybı elektron transferi(SPLET) mekanizmaları [9].

### HAT mekanizması

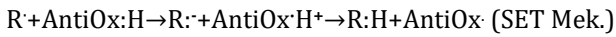
HAT mekanizması, oksidatif zincir reaksiyonunu kırmak için antioksidan molekülün homolitik O-H bağ bölünmesiyle beraber bir H atomu ile birleştiği ve antioksidan radikalinin tek adımda oluştuğu ve Bağ Ayrışma Enerji (BDE)'nin hesaplandığı (Denk. 1) mekanizmadır. BDE, HAT mekanizmasına ilişkin önemli bir sayısal parametredir ve ilgili hidroksil grubunun stabilitesini karakterize eder, düşük BDE değerine sahip olan bağın stabilitesi düşüktür ve kolayca kırılabilir olduğundan oldukça güçlü bir antioksidatif etki gösterir [10].



$$\text{BDE} = H(\text{ArO}) + H(\text{H}) - H(\text{ArOH}) \quad (1)$$

### SET-PT mekanizması

İki basamakta gerçekleşen SET mekanizmada birinci adımda bir katyonik radikal ara ürün oluşması ve serbest radikal bileşiğinin anyonik forma geçmesinin ardından, 2. adımda anyonik formdaki serbest radikal antioksidan molekülünden bir H atomu alarak nötralle olur. Bir fenolik bileşiğin elektron bağışlama yeteneği, tüm molekül üzerinde genişletilmiş bir elektronik delokalizasyon ile ilgilidir. Yüksek bir  $\pi$ -delokalizasyon derecesine sahip olan bir fenolik bileşik daha aktiftir. SET mekanizma antioksidasyon olayının enerjetik olarak açıklanmasında İyonizasyon Potansiyeli (IP)'ni (Denk. 2) ve katyon radikalinin deprotonasyonuna ait Proton Ayrışma Enerjisi (PDE)'ni (Denk. 3) kullanarak önemli bir enerji değerinin hesaplanmasından sorumludur.



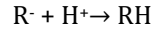
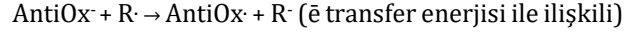
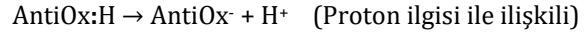
$$\text{IP} = H(\text{ArOH}^+) + H(e^-) - H(\text{ArOH}) \quad (2)$$

$$\text{PDE} = H(\text{ArO} \cdot) + H(\text{H}^+) - H(\text{ArOH}^+) \quad (3)$$

### SPLET mekanizması

Üç adımda gerçekleşen SPLET mekanizmasına göre birinci adımda oluşan  $\text{AntiOx} \cdot$  anyonun oluşumu sözkonusu bileşikteki  $\text{OH} \cdot$  grubunun Proton Afinitesi (PA, Denk.4) ile ilişkilidir. Elektron Transfer Enerjisi (ETE, Denk.5) tarafından yönetilen ikinci adımda  $\text{AntiOx} \cdot$  radikal formu oluşurken, son adımda serbest radikalın nötralle olmuş formu elde edilir. Yüksek

antioksidatif aktivite düşük PA ve ETE değerleri ile ilişkili olduğu belirtilmektedir.



$$\text{PA} = H(\text{ArO} \cdot) + H(\text{H}^+) - H(\text{ArOH}) \quad (4)$$

$$\text{ETE} = H(\text{ArO} \cdot) + H(e^-) - H(\text{ArO} \cdot) \quad (5)$$

Antioksidan özellikleri tayin etmekte kullanılan diğer önemli kriterler ise moleküler tanımlayıcı olarak ifade edilen elektronegatiflik ( $\chi$ ), elektron afinitesi (EA), kimyasal sertlik ( $\eta$ ) ve elektrofilitite indeksi ( $\omega$ ) parametreleridir. Kimyasal sertlik, yük transferine karşı direncin bir ölçüsüdür; elektronegatiflik ise, elektronları kimyasal bir bağ içinde çekme eğiliminin bir ölçüsüdür. Bir verici ve bir alıcı arasındaki maksimum elektron akışı, atomlar arasındaki bağlanma enerjisinin ayrışması tarafından yönetilir ve faktör elektrofilitite indeksi ile belirlenir. Bu çalışmada  $\chi$ ,  $\eta$ , S ve  $\omega$  değerleri Koopman'ın teorisine göre nötral moleküllerin HOMO-LUMO enerjilerinden elde edilen  $\text{IA} = -E_{\text{HOMO}}$  ve  $\text{EA} = -E_{\text{LUMO}}$  değerleri Denk. 6-9'da kullanılarak elde edilmiştir [11].

$$X = -\mu \approx (\text{IP} + \text{EA}) / 2 \quad (6) \quad S \approx 1 / (2\eta) \quad (7)$$

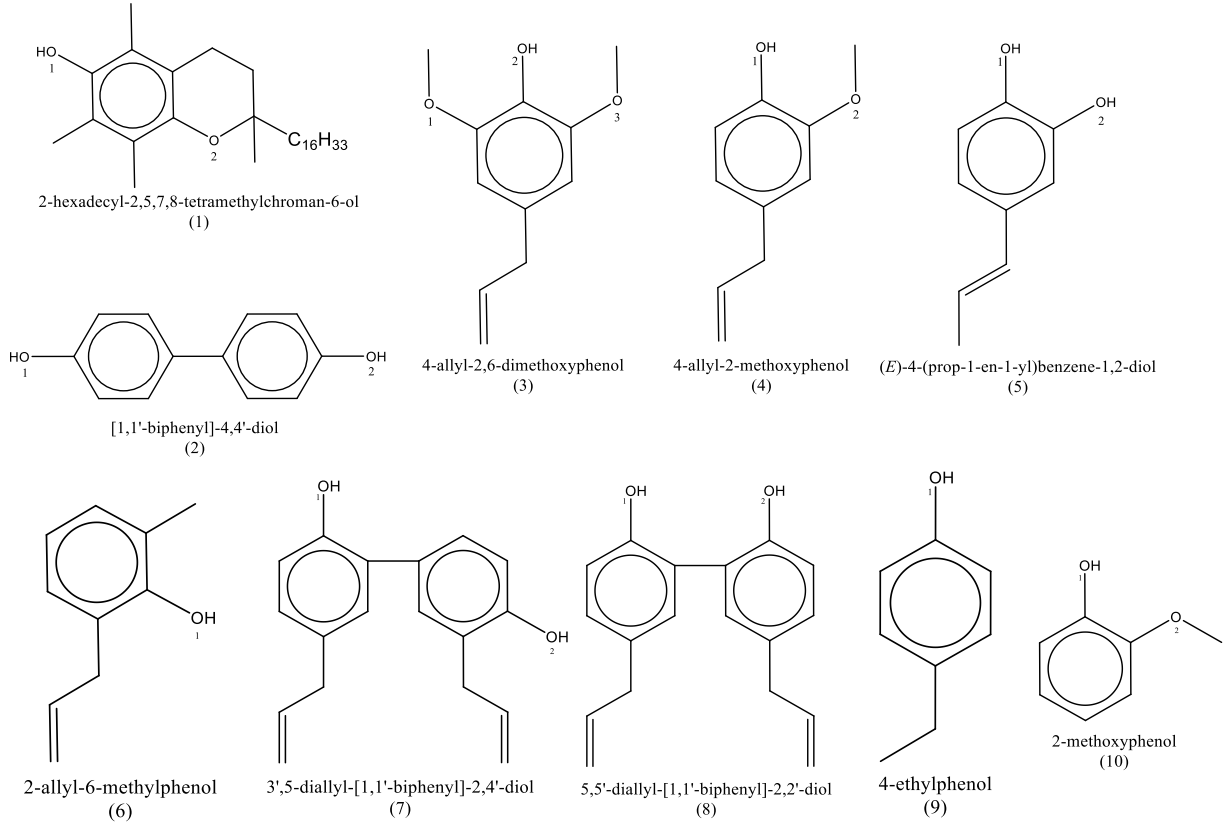
$$\eta \approx (\text{IP} - \text{EA}) / 2 \quad (8) \quad \omega \approx \mu^2 / 2\eta \quad (9)$$

Bu çalışmada 10 farklı fenolik antioksidan bileşiğinin (Şekil 1) antioksidan aktivite sıralamalarını oluşturmak için literatürde önerilen üç temel mekanizma (HAT, SET-PT ve SPLET) DFT//B3LYP metodu 6-31+G(d) temel kümesi ile modellenmiş ve moleküler tanımlayıcılar elde edilerek moleküllerin antioksidan aktivite sıralaması yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Söz konusu çalışmada literatürde [6] yapısal olarak antioksidan aktiviteye sahip olduğu öne sürülen fenolik antioksidan bileşiklerin HAT, SET-PT ve SPLET mekanizmaları için tek nokta enerji hesaplamaları yapılarak BDE, IP, PDE, PA ve ETE değerleri;  $E_{\text{HOMO}}$  ve  $E_{\text{LUMO}}$  dağılımları ve değerleri; antioksidan aktivite için önemli bir veri olan  $\chi$ , EA,  $\eta$  ve  $\omega$  değerleri paket programlar kullanılarak elde edilmiştir.

Bileşiklerin konformer taramaları yarı ampirik PM6 yöntemi [12, 13] ile Spartan'14 [14] programında yapılmıştır. Elde edilen en kararlı konformerlerin geometri optimizasyonları GaussView5 [15] görselleştirme programı kullanılarak yoğunluk fonksiyonu teoremi (DFT) [16] B3LYP metodu ve 6-



**Şekil 1.** İncelenen (1):2-hexadecyl-2,5,7,8 tetramethylchroman-6-ol; (2):[1,1'-biphenyl]-4,4'-diol; (3): 4-allyl-2,6-dimethoxyphenol; (4): 4-allyl-2-methoxyphenol; (5): (E)-4-(prop-1-en-1-yl)benzene-1,2-diol; (6): 2-allyl-6-methylphenol; (7): 3',5'-diallyl-[1,1'-biphenyl]-2,4'-diol; (8): 5,5'-diallyl-[1,1'-biphenyl]-2,2'-diol; (9): 4-ethylphenol; (10): 2-methoxyphenol fenolik antioksidan bileşiklerinin 2D yapıları (ChemDraw 15.0) ve OH numaralandırılmaları

31+G(d) temel seti ile Gaussian09 [17] programında gerçekleştirilmiştir. Fenolik bileşiklerin antioksidatif özelliklerini araştırmak için yaygın ve etkili bir yöntem olduğu için, DFT hesaplaması uygulanmıştır [10]. Optimize yapılar HAT, SET-PT ve SPLET mekanizmaları ve zamana bağlı tek nokta enerji (TD-SP) hesabından elde edilen  $E_{HOMO}$  ve  $E_{LUMO}$  değerleri DFT//B3LYP/6-31+G(d) [18, 19] metodu ile gaz, etanol ve su ortamlarında Spartan'14 programı kullanılarak hesaplanmış ve HOMO-LUMO dağılımları görüntülenmiştir. Aynı metot ile hesaplanan  $H(H^+)$ ,  $H(e^-)$  ve  $H(H^-)$  değerleri gaz, etanol ve su fazlarında hesaplanmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

İncelenen fenolik antioksidan bileşiklerin HAT ve SPLET mekanizmaların gaz, etanol ve su ortamlarında DFT//B3LYP/6-31+G(d) metodu ile modellenmesinde elde edilen BDE ve ETE değerleri Tablo 1'de listelenmiştir. Tablo 1 incelendiğinde literatürde Zheng ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada da olduğu gibi polar faza geçildiğinde BDE değerleri daha düşük bulunmuştur. Çalışılan moleküller arasında en düşük BDE değeri bileşik 1 için de gaz, etanol ve su fazlarının hepsinde olmak üzere sırasıyla  $345.0385 \text{ KJmol}^{-1}$ ,  $331.4765 \text{ KJmol}^{-1}$ ,  $328.3524 \text{ KJmol}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. İncelenen

bileşiklerin BDE değerlerine göre antioksidan aktiviteleri gaz fazında  $1 > 5-OH2 > 3 > 2 > 9 > 6 > 4 > 7-OH1 > 5-OH1 > 10 > 7-OH2 > 8OH2 > 8-OH1$ , etanol ve su fazında  $1 > 5-OH2 > 3 > 5-OH1 > 4 > 9 > 10 > 2 > 7-OH1 > 8-OH2 > 8-OH1 > 6 > 7-OH2$  olarak gözlenmiştir. Elde edilen BDE sıralamasındaki ilk üç değer çalışılan tüm ortamlarda aynı bulunurken polar fazlardaki sıralama tamamen aynı olarak tespit edilmiştir. Bileşik 1, 3 ve 5'in yapısı incelendiğinde 1 numaralı bileşiğin OH grubunun bağlı olduğu benzen halkasında o- ve p- pozisyonlarında 3 adet  $-CH_3$  grubunu olması ve bu grubun indüktif ve mezomerik olarak e<sup>-</sup> verme özelliği bisiklik yapıda bulunan ilgili bileşiğin antioksidan özelliğinin azaltmasına karşılık bisiklik formu tarafından önemli oranda desteklendiğini göstermektedir. Öte taraftan bileşik 5'te OH2 grubu iki tarafından indüktif olarak e<sup>-</sup> çeken sübstitüentlere daha yakın komşu olması sebebi ile OH1'e göre daha kuvvetli antioksidan karakter taşımaktadır. Bileşik 4 ile yapısal olarak çok benzeyen bileşik 3'e baktığımızda ise OH grubunun o-pozisyonlarında iki adet e<sup>-</sup> çeken grupların varlığı indüktif olarak yapıya antioksidan karakter kazandırmış olması OH grubunun etrafındaki sübstitüe grupların sayısının ve karakterinin önemini vurgulamıştır. SPLET mekanizmanın modellenmesinden elde edilen gaz, etanol ve su fazlarındaki ETE değerleri aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** DFT//B3LYP/6-31+G(d) yöntemi ile hesaplanan O-H bağı için BDE ve ETE değerleri (Kjmol<sup>-1</sup>)

bileşik	BDE			ETE		
	gaz	etanol	su	gaz	etanol	su
1	<b>345.0385</b>	<b>331.4765</b>	<b>328.3524</b>	-1041.8475	<b>-810.4869</b>	<b>-795.2230</b>
2	382.5955	371.4951	367.8633	-1005.6594	-769.0483	-752.5066
3	368.5388	354.9616	351.6868	<b>-1042.1967</b>	-803.6944	-786.2677
4	390.7222	367.5235	362.8509	-1030.1007	-779.4527	-760.6617
5-OH1	393.2500	366.7697	361.2985	-1021.2804	-766.8300	-746.7200
5-OH2	351.8763	343.7816	340.1529	-1001.3100	-772.9036	-757.7424
6	389.6158	379.5055	376.8750	-1011.2754	-766.2099	-750.6727
7-OH1	392.0620	375.7547	372.4878	-1003.9114	-768.3849	-751.4504
7-OH2	395.3394	387.3589	385.0598	-974.6084	-757.8146	-742.2008
8-OH1	398.8615	379.9786	376.8606	-977.2489	-756.4034	-740.0975
8-OH2	398.7654	379.8941	376.7713	-977.1350	-756.2485	-739.9436
9	382.6551	370.7566	367.1092	-1022.3500	-769.8932	-752.8663
10	395.2942	371.7267	367.1470	-1029.3562	-772.9501	-754.3164

Tablo 1 incelendiğinde polar fazlarda literatür ile uyumlu olarak ETE değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir [19]. En düşük ETE değeri gaz fazında bileşik 3 için (-1042.1967 Kjmol<sup>-1</sup>), polar fazlarda ise bileşik 1 için elde edilmiştir (etanol ve su fazları için sırasıyla -810.4869 Kjmol<sup>-1</sup>, -795.2230 Kjmol<sup>-1</sup>). Düşük ETE değerleri yüksek antioksidan etkiyi temsil etmeleri nedeni ile araştırılan bileşiklerin arasında yapılan incelemede gaz fazında **3>1>4>10>9>5-OH1>6>2>7 OH1>5-OH2>8-OH1>8-OH2>7-OH2**, etanol fazında **1>3>4>10>5-OH2>9>2>7-OH1>5-OH1>6>7-OH2>8-OH1>8-OH2** ve su fazında **1>3>4>5-OH2>10>9>2>7-OH1>6>5-OH1>7-OH2>8-OH1>8-OH2** şeklinde sıralanmıştır. Elde edilen sıralamaya bakıldığında ilk üç bileşik aynı çıkmıştır. Ancak yaklaşık olarak 0.35 Kjmol<sup>-1</sup>lük bir fark ile gaz fazı ve polar fazlarda elde edilen sıralamada bileşik 1 ve bileşik 3 farklı sıralamada bulunmuştur.

SET-PT mekanizmasının ikinci adımından elde edilen PDE değerleri Tablo 2'de listelenmiştir. Tablo 2 incelendiğinde PDE değerleri polar fazlara geçildiğinde önemli ölçüde düştüğü gözlemlenmiştir. Gaz fazında en düşük PDE değeri bileşik 9 (926.0960 Kjmol<sup>-1</sup>) için elde edilirken polar fazlara gelince bileşik 8'in OH2 (etanol ve su fazları için sırasıyla 693.4811 Kjmol<sup>-1</sup>, 680.9179 Kjmol<sup>-1</sup>) grubu için elde

edilmiştir. SET-PT mekanizması için gaz fazında PDE değerleri sıralaması **9>6>5-OH2>10>3>4>8-OH2>8-OH1>2>5-OH1>7-OH1>7-OH2>1**; etanol fazında **8-OH2>8-OH1>6>9>5-OH2>7-OH1>3>1>10>4>7-OH2>2>5-OH1** ve su fazında **8-OH2>8-OH1>6>9>5-OH2>1>3>7-OH1>10>4>7-OH2>2>5-OH1** olarak gözlemlenmiştir.

SPLET mekanizmadan elde edilen PA değerleri gaz, etanol ve su fazları için aşağıda Tablo 2'de listelenmiştir. Tablo 2 incelendiğinde etanol fazındaki PA değerlerinin gaz fazındaki değerlerden yaklaşık 600 Kjmol<sup>-1</sup>, su fazındaki PA değerlerinin ise gaz fazındaki değerlerden yaklaşık 630 Kjmol<sup>-1</sup> düşük olduğu saptanmıştır.

Bileşik 5'in 2-OH grubunun diğer moleküllerin OH gruplarının PA değerlerinden daha küçük olduğu dolayısıyla 2-O<sup>-</sup> anyon oluşumunun diğer anyon oluşumlarından daha kolay olabileceği anlamına gelir. SPLET mekanizmasında PA'ların değerine göre en yüksek antioksidan etki gösteren bileşik 5'tir. Bileşiklerin antioksidan sıralaması gaz fazında **5-OH2>7-OH2>8-OH2>8-OH1>1>2-OH1>2-OH2>7-OH1>6>9>3>5-OH1>4>10**; etanol fazında **5-OH2>5-OH1>8-OH2>8-OH1>2>9>1>7-OH1>10>7-OH2>6>4>3** ve su fazında **5-OH2>5-OH1>8-OH2>8-OH1>9>2>10>4>1>7-OH1>7-OH2>6>3** olarak saptanmıştır.

**Tablo 2.** DFT//B3LYP/6-31+G(d) yöntemi ile hesaplanan PDE ve PA değerleri (Kjmol<sup>-1</sup>)

bileşik	PDE			PA		
	gaz	etanol	su	gaz	etanol	su
1	992.5241	701.8745	688.8196	1487.8559	822.8962	792.4835
2	981.9690	719.3073	706.5898	1489.2248	821.4763	789.2780
3	972.1880	701.8916	688.9664	1511.7054	839.5888	806.8626
4	972.7979	709.3029	695.6616	1521.7928	827.9090	792.4208
5-OH1	986.7172	723.1282	708.9939	1515.5003	814.5327	776.9266
5-OH2	945.3436	700.1401	687.8484	<b>1454.1563</b>	<b>797.6181</b>	<b>766.8035</b>
6	939.0327	694.1742	683.0697	1501.8611	826.6483	796.4559
7-OH1	988.6530	701.8853	689.1165	1496.9433	825.0725	792.8464
7-OH2	991.9304	713.4895	701.6885	1470.9177	826.1064	796.1687
8-OH1	976.8911	693.5656	681.0072	1477.0803	817.3149	785.8662
8-OH2	976.7950	<b>693.4811</b>	<b>680.9179</b>	1476.8703	817.0754	785.6231
9	<b>926.0960</b>	698.4380	687.1317	1505.9750	821.5826	788.8837
10	952.2757	708.6239	695.4632	1525.6203	825.6096	790.3716

Bu çalışmada incelenen fenolik antioksidan türevi bileşiklerin SET-PT mekanizması üzerinden hesaplanan IP değerleri Tablo 3'te listelenmiştir. Tablo 3 incelendiğinde elektronun en kolay koparıldığı bileşik 1 olarak gözlenmiştir. Gaz fazındaki sıralama  $1 > 3 > 2 > 7 > 5 > 4 > 8 > 10 > 6 > 9$  şeklinde iken etanol ve su fazlarında  $1 > 5 > 2 > 3 > 4 > 10 > 9 > 7 > 6 > 8$  şeklinde tespit edilmiştir.

**Tablo 3.** DFT//B3LYP/6-31+G(d) yöntemi ile hesaplanan IP değerleri (Kjmol<sup>-1</sup>)

bileşik	gaz	etanol	su
1	<b>-546.5157</b>	<b>-689.4652</b>	<b>-691.5591</b>
2	-498.4037	-666.8794	-669.8183
3	-502.6793	-665.9972	-668.3714
4	-481.1058	-660.8465	-663.9026
5	-492.4973	-675.4256	-678.7873
6	-448.4470	-633.7358	-637.2866
7	-495.6211	-645.1977	-647.7206
8	-477.0597	-632.6541	-635.2384
9	-442.4711	-646.7486	-651.1143
10	-456.0115	-655.9644	-659.4080

Antioksidan aktivitenin önemli bir kriteri olan elektron verme yeteneği  $E_{HOMO}$  ile ilgilidir, düşük  $E_{HOMO}$  proton vermekteki zayıf yetenekleri, yüksek  $E_{HOMO}$  ise daha güçlü elektron bağışlama yeteneklerini gösterir [20]. Diğer önemli bir parametrede düşük  $E_{LUMO}$  değeridir.  $E_{HOMO}-E_{LUMO}$  arasındaki bandgap değeri ne kadar düşük olursa e- bir üst orbital seviyesine daha kolay geçeceği için daha kolay iyonize hale geçmeyi ve yüksek antioksidan aktiviteyi temsil eder [21, 22]. Aşağıda Tablo 4'te

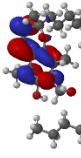
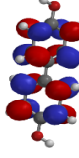
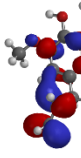
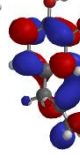
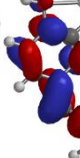
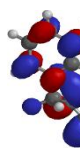
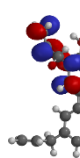
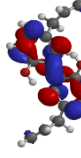
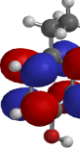
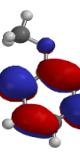
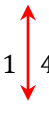
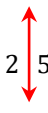
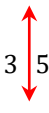
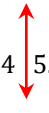
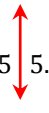
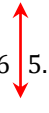
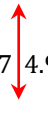
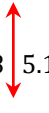
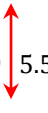

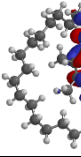
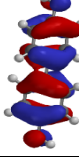
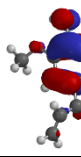
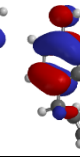
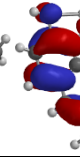
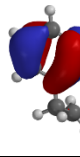
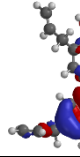
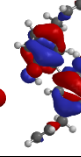
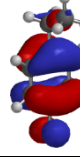
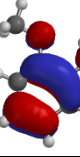
DFT//B3LYP/6-31+G(d) yöntemi ile elde edilen gaz, etanol ve su fazlarındaki  $E_{HOMO}-E_{LUMO}$ , bandgap ve moleküler tanımlayıcı parametreleri listelenmiştir. Çalışılan 10 adet fenol türevi antioksidan bileşik için gaz, etanol ve su fazlarında sırasıyla -5.35 eV, -5.66 eV ve -5.7 eV değerleri ile elde edilen en yüksek  $E_{HOMO}$  değerine sahip bileşik 1 olarak saptanmıştır.  $E_{HOMO}-E_{LUMO}$  arasındaki bandgap'e bakıldığında da en düşük değer çalışılan tüm ortamlarda yine bileşik 1 için elde edilmiştir. Düşük bandgap enerjisinin molekülün antioksidan özellik taşıdığı anlamına gelmesi çalışılan bileşiklerin antioksidan aktivite sıralamaları gaz fazında  $1 > 7 > 5 > 2 > 8 > 3 > 4 > 6 > 9 > 10$  şeklinde etanol ve su fazlarında  $1 > 5 > 2 > 8 > 7 > 4 > 3 > 9 > 6 > 10$  şeklinde sıralanmıştır. Diğer taraftan DFT//B3LYP/6-31+G(d) yöntemi ile gaz, etanol ve su fazlarında hesaplanan ve Tablo 4'te listelenen  $\chi$ ,  $\eta$ ,  $\mu$ , S ve  $\omega$  moleküler tanımlayıcı değerleri literatürdeki farklı antioksidan moleküllerin yoğunluk fonksiyonu teorisi ile elde edilen değerleri ile kıyaslandığında bileşiklerin elektron verici karakter taşıdıkları tespit edilmiştir [23, 24], ki bu özellik antioksidan aktivitelerinin bir göstergesidir.

Tablo 5-7'te fenolik antioksidan türevi bileşiklerin DFT//B3LYP/6-31+G(d) yöntemi ile elde edilen HOMO-LUMO dağılımları verilmiştir. HOMO-LUMO görüntüleri incelendiğinde HOMO orbitallerinin fenolik halkada yoğunlaştığı görülürken LUMO orbitallerinin özellikle süstitüe gruplar üzerinde moleküle yayıldığı görülmüştür.

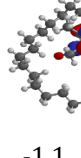
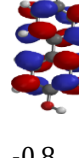
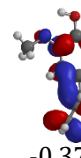
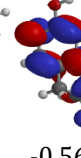
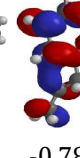
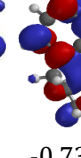
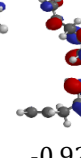
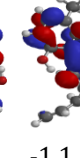
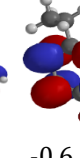
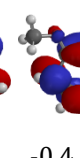









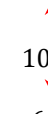
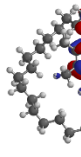
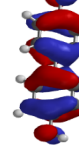
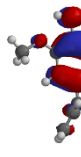
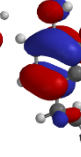


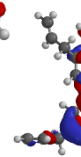
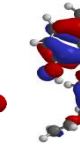
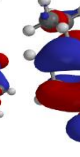
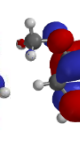
**Tablo 4.** DFT/6-31+G(d) metodu ile gaz fazında hesaplanan moleküler tanımlayıcılar:  $E_{HOMO}$  (eV),  $E_{LUMO}$  (eV), bandgap (eV)

	moleküler tanımlayıcılar	bileşik									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
gaz	$E_{HOMO}$	<b>-5.35</b>	-5.78	-5.57	-5.74	-5.68	-6.01	-5.9	-6.16	-6	-5.84
	$E_{LUMO}$	-0.85	-0.67	-0.23	-0.39	-0.61	-0.65	-0.94	-1.02	-0.44	-0.19
	bandgap	<b>-4.5</b>	-5.11	-5.34	-5.35	-5.07	-5.36	-4.96	-5.14	-5.56	-5.65
	$\chi$	3.1	3.23	2.9	3.07	3.15	3.33	3.42	3.59	3.22	3.02
	$\mu$	-3.1	-3.23	-2.9	-3.07	-3.15	-3.33	-3.42	-3.59	-3.22	-3.02
	$\eta$	2.25	2.56	2.67	2.68	2.54	2.68	2.48	2.57	2.78	2.83
	S	0.22	0.2	0.19	0.19	0.2	0.19	0.2	0.19	0.18	0.18
	$\omega$	2.14	2.04	1.58	1.76	1.95	2.07	2.36	2.51	1.87	1.61
etanol	$E_{HOMO}$	<b>-5.66</b>	-5.9	-5.88	-5.97	-5.84	-6.28	-6.12	-6.26	-6.14	-6.05
	$E_{LUMO}$	-1.1	-0.8	-0.37	-0.56	-0.78	-0.73	-0.92	-1.1	-0.6	-0.4
	bandgap	<b>-4.56</b>	-5.1	-5.51	-5.41	-5.06	-5.55	-5.2	-5.16	-5.54	-5.65
	$\chi$	3.38	3.35	3.13	3.27	3.31	3.51	3.52	3.68	3.37	3.23
	$\mu$	-3.38	-3.35	-3.13	-3.27	-3.31	-3.51	-3.52	-3.68	-3.37	-3.23
	$\eta$	2.28	2.55	2.76	2.71	2.53	2.78	2.6	2.58	2.77	2.83
	S	0.22	0.2	0.18	0.18	0.2	0.18	0.19	0.19	0.18	0.18
	$\omega$	2.51	2.2	1.77	1.97	2.17	2.03	2.38	2.62	2.05	1.84
su	$E_{HOMO}$	<b>-5.7</b>	-5.92	-5.93	-6.01	-5.87	-6.31	-6.16	-6.3	-6.17	-6.09
	$E_{LUMO}$	-1.13	-0.81	-0.4	-0.59	-0.81	-0.75	-0.94	-1.12	-0.62	-0.43
	bandgap	<b>-4.57</b>	-5.11	-5.53	-5.42	-5.06	-5.56	-5.22	-5.18	-5.55	-5.66
	$\chi$	3.42	3.37	3.17	3.3	3.34	3.53	3.55	3.71	3.4	3.26
	$\mu$	-3.42	-3.37	-3.17	-3.3	-3.34	-3.53	-3.55	-3.71	-3.4	-3.26
	$\eta$	2.29	2.56	2.77	2.71	2.53	2.78	2.61	2.59	2.78	2.83
	S	0.22	0.2	0.18	0.18	0.2	0.18	0.19	0.19	0.18	0.18
	$\omega$	2.55	2.22	1.81	2.01	2.2	2.24	2.41	2.66	2.08	1.88

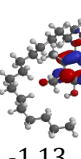
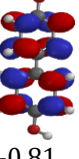
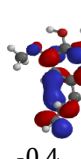
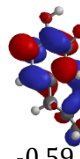
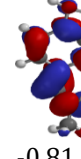
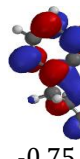
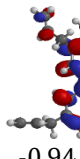
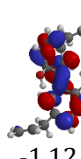
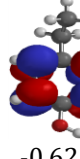
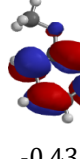

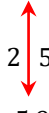
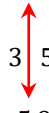
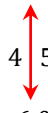
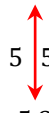
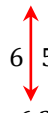
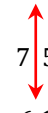
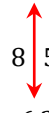
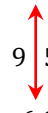
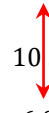
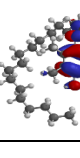
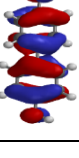
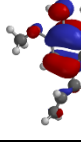
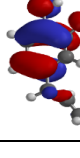
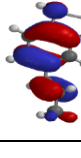
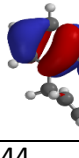
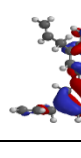
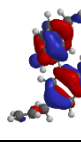
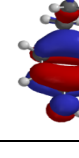
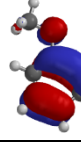
**Tablo 5.** HOMO-LUMO Gaz Fazı görüntüleri

LUMO(eV)										
	-0.85	-0.67	-0.23	-0.39	-0.61	-0.65	-0.94	-1.02	-0.44	-0.19
bandgap										
	1 4.5	2 5.11	3 5.34	4 5.35	5 5.07	6 5.36	7 4.96	8 5.14	9 5.56	10 5.65
	-5,35	-5.78	-5.57	-5.74	-5.68	-6.01	-5.9	-6.16	-6	-5.84
HOMO(eV)										

**Tablo 6.** HOMO-LUMO Etanol Fazı görüntüleri

LUMO										
	-1.1	-0.8	-0.37	-0.56	-0.78	-0.73	-0.92	-1.1	-0.6	-0.4
bandgap										
	1 4.56	2 5.1	3 5.51	4 5.41	5 5.06	6 5.55	7 5.2	8 5.16	9 5.54	10 5.65
	-5.66	-5.9	-5.88	-5.97	-5.84	-6.28	-6.12	-6.26	-6.14	-6.05
HOMO										

**Tablo 7.** HOMO-LUMO Su Fazı Görüntüleri

LUMO										
	-1.13	-0.81	-0.4	-0.59	-0.81	-0.75	-0.94	-1.12	-0.62	-0.43
bandgap										
	1 4.57	2 5.11	3 5.53	4 5.42	5 5.06	6 5.56	7 5.22	8 5.18	9 5.55	10 5.66
	-5.7	-5.92	-5.93	-6.01	-5.87	-6.31	-6.16	-6.3	-6.17	-6.09
HOMO										



#### 4. Sonuç

Bu çalışmada Spartan 14 programı ve DFT//B3LYP/6-31+G(d) yöntemi ile 10 adet fenolik bileşiğin gaz etanol ve su fazlarında HAT, SET-PT ve SPLET mekanizmaları modellendi. Elde edilen verilere göre BDE, ETE, PA, IP, PDE ve  $\Delta(E_{\text{HOMO}}-E_{\text{LUMO}})$  değerleri hesaplanarak antioksidan aktiviteleri sıralanmıştır. HAT mekanizmadan elde edilen BDE değerlerindeki ilk üç fenolik antioksidan aktivite çalışılan tüm fazlarda  $1>5\text{-OH}_2>3$  olarak gözlenmiştir. SPLET mekanizmasının modellenmesinden elde edilen ETE değerlerine bağlı sıralamada ise gaz fazında  $3>1>4$ , etanol ve su fazında  $1>3>4$  şeklinde iken PA değerlerine bağlı antioksidan aktivite sıralaması gaz fazında  $5\text{-OH}_2>7\text{-OH}_2>8\text{-OH}_2$ , etanol ve su fazında  $5\text{-OH}_2>5\text{-OH}_1>8\text{-OH}_2$  olarak saptanmıştır. SET-PT mekanizmasından elde edilen PDE değerlerine bağlı antioksidan aktivite sıralamasında  $9>6>5\text{-OH}_2$ ; etanol ve su fazında  $8\text{-OH}_2>8\text{-OH}_1>6$  olarak gözlenirken IP değerlerinden elde edilen gaz fazındaki sıralama  $1>3>2$  şeklinde iken etanol ve su fazlarında  $1>5>2$  şeklinde tespit edilmiştir. Bir diğer önemli parametre olan  $\Delta(E_{\text{HOMO}}-E_{\text{LUMO}})$  bandgap enerji değerlerine bakıldığında ise antioksidan aktivite sıralamaları gaz fazında  $1>7>5$  şeklinde iken etanol ve su fazında  $1>5>2$  şeklindedir. Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde bileşik 1 olarak tanımlanan 2-hexadecyl-2,5,7,8-tetramethylchroman-6-ol molekülünün antioksidan aktivitesi çalışılan yöntem ve fazlarda en yüksek olarak bulunmuştur.

Yazarlar bu çalışma ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### Teşekkür

Yazarlar bilgisayar kaynağı ve yazılım desteği nedeni ile Marmara Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi'ne ve Safiye Sağ Erdem'e teşekkür ederler.

#### Kaynakça

- [1] Özcan, O., Erdal, H., Çakırca, G., Yönden, Z. 2015. Oksidatif Stres ve Hücre İçi Lipit, Protein ve DNA Yapıları Üzerine Etkileri. *Journal of Clinical and Experimental Investigations*, 6 (2015) 331-336.
- [2] Reed, D.J. 1995. Toxicity of Oxygen in Molecular And Cellular Mechanisms of Toxicity. CRC Press, 35-68, Boca Raton- USA.
- [3] Younes, M. 1999. Free Radicals and Reactive Oxygen Species, in Toxicology, 'By H. Marguardt, Mechanisms of Antioxidant and Pro-Oxidant Effects of Lipoic Acid in the Diabetic and Nondiabetic Kidney'. *Kidney International*, 67 (1999), 1371 - 1380.
- [4] Berlett, B.S., Stadtman, ER. 1997. Protein Oxidation in Aging, Disease and Oxidative Stress.

The Journal of Biological Chemistry, 272 (1997): 20313-6.

- [5] Şahin, D.Y., Elbasan, Z., Gür, M., Türkoğlu, C., Özaltun, B., Sümbül, Z., Çaylı, M. 2012. Relationship Between Oxidative Stress Markers and Cardiac Syndrome X. *Journal of Clinical and Experimental Investigations*, 3 (2012): 174-180.
- [6] Zhang, H.Y. 1999. Theoretical Elucidation of Structure-Activity Relationships of Flavonoid Antioxidants, *Science in China (series B)* 42 (1999), 106-112.
- [7] Shahidi, F., Naczki, M., 1995. Food Phenolics; Technomic Publishing: Lancaster, PA,
- [8] Zhang, H. Y. 1998. Selection of Theoretical Parameter Characterizing Scavenging Activity of Antioxidants on Free Radicals, *J. Am. Oil Chem. Soc.* 75 (1998), 1705-1709.
- [9] Lu, L., Qiang, M., Li, F., Zhang, H., Zhang, S., 2014. Theoretical Investigation on the Antioxidative Activity of Anthocyanidins: A DFT/B3LYP Study. *Dyes And Pigments*, 103(2014), 175-182.
- [10] Nenadis, N., Sigalas, M. P. 2011. A DFT Study on the Radical Scavenging Potential of Selected Natural 3',4'-Dihydroxy Aurones. *Food Research International*, 44 (2011), 114-120.
- [11] Urbaniak, A., Molski, M., Szelag, M., 2012. Quantum-Chemical Calculations of the Antioxidant Properties of Trans-P-Coumaric Acid and Trans-Sinapinic Acid. *Computational Methods in Science And Technology*, 18 (2012), 117-128.
- [12] Stewart, J. J. P. 2008. Application of the PM6 method to modeling the solid state, *J Mol Model.* 14 (2008): 499-535
- [13] Stewart, J. J. P. 2009. Application of the PM6 method to modeling proteins, *J Mol Model.* 15, 7(2009), 765-805
- [14] Spartan 14v112 (2013) Wavefunction, Inc., Irvine.
- [15] Dennington R, Keith T, Millam J. GaussView, Version 5, Semichem Inc., Shawnee Mission KS, 2009.
- [16] Hehre, W. J. 2003. A Guide to Molecular Mechanics and Quantum Chemical Calculations, Wavefunction, Inc., Irvine, CA.
- [17] Frisch, M. J. "Gaussian 09", Gaussian, Inc, 2009. Version 6.
- [18] Axel, D. B. 1993. A new mixing of Hartree-Fock and local density-functional theories. *The Journal of Chemical Physics* 98(1993), 1372.
- [19] Petersson, G. A., Bennett, A., Tensfeldt, T. G., Al-Laham, M. A., Shirley, W. A., Mantzaris, J. 1988. A complete basis set model chemistry. I. The total energies of closed-shell atoms and hydrides of

- the first-row atoms, *J. Chem. Phys.*, 89 (1988), 2193-218.
- [20] Zheng, Y.Z., Deng, G., Liang, Q., Chen, D.F., Guo, R., Lai, R.C. 2017. Antioxidant Activity of Quercetin and Its Glucosides From Propolis: A Theoretical Study. *Scientific Reports*, 7(2017), 7543.
- [21] Weirong, C., Yong, C., Liangliang, X., Hong, Z., Chunyuan, H. 2014. Characterization and density functional theory study of the antioxidant activity of quercetin and its sugar-containing analogues, *Eur Food Res Technol*, 238 (2014), 121-128.
- [22] Al-Majedy, Y. K., Al-Amiery, A. A., Kadhum, A. H., Mohamad, A. B. 2016. Antioxidant Activities of 4-Methylumbelliferone Derivatives, *PLoS One*. 11 (2016), 5.
- [23] Praveena, R., Sadasivam, K., Kumaresan, R., Deepha, V, Sivakumar R. 2013. Experimental and DFT studies on the antioxidant activity of a C-glycoside from *Rhynchosia capitata*, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 103 (2013), 442-452.
- [24] Praveena, R., Sadasivam, K., Kumaresan, R., Deepha, V, Sivakumar R., Zheng, Y. Z., Deng G., Liang, Q., Chen, D., Guo, R., Rong-Cai, L., 2013, Antioxidant Activity of Quercetin and Its Glucosides from Propolis: A Theoretical Study, *Scientific Reports*, 7(2013), 7543.

## Evaluation of Chemical and Mineralogical Structure of Davutoğlan Bird Sanctuary Clay for It's Antimicrobial Efficiency

Şaziye Betül SOPACI

Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Art and Science, Department of Chemistry, 40100, Kırşehir  
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2840-4985>)

(Alınış / Received: 23.07.2018, Kabul / Accepted: 28.11.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 15.03.2019)

### Keywords

Natural clay,  
Antimicrobial activity,  
Clay minerology

**Abstract:** In this study we examined possible antimicrobial properties of clay specimen taken from Davutoğlan Bird Sanctuary which is located in Kıztepe skirts as a remote ecological environment to industrial areas. Antimicrobial effects of Gram (-) (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) and Gram (+) (*Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*) pathogenic bacteria species on clay samples collected from the region were investigated. Between 0.5-1.5 g/mL concentration range clay has been shown to affect bacterial growth with the bacterial inoculations of  $10^5$  cfu/mL. X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF) and thermogravimetric (TG) studies of clay minerals and chemical structure have been determined in parallel with the study of antimicrobial activity in order to support these results and to explain the findings. In addition, scanning electron microscopy (SEM) and Brunauer–Emmett–Teller (BET) methods were used to determine the pore structure and surface area of the clay. The obtained results were correlated with antimicrobial activity. According to XRD, XRF and TG analysis results, illite, dolomite and calcite were found to be major clay minerals from the samples taken from the area. It was found that they have a large surface area of  $57,002$  m<sup>2</sup>/g according to BET results. It is also concluded that since the large surface area gives strong absorbent properties and supplies a suitable interface for oxidation, suppression of the bacterial growth is observed.

## Davutoğlan Kuş Cenneti Kilinin Kimyasal ve Mineralojik Yapısının Antimikrobiyal Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi

### Anahtar Kelimeler

Doğal kil,  
Antimikrobiyal aktivite,  
Kil mineralojisi

**Özet:** Bu çalışmada endüstri bölgelerine uzak bir ekolojik ortam olan Davutoğlan Kuş Cenneti Kıztepe mevki eteklerinden alınan kil örneğinin olası antimikrobiyal özellikleri incelenmiştir. Bölgeden alınan kil örneklerinin Gram(-) (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) ve Gram(+) (*Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*) patojen bakteri türleri üzerindeki antimikrobiyal etkileri araştırılmıştır. Kilin 0.5-1.5 g/mL konsantrasyon aralığında  $10^5$  cfu/mL bakteri inokülasyonlarına karşı bakteriyostatik etkide olduğu gösterilmiştir. Bu sonuçları desteklemek ve bulguları açıklamak amacıyla antimikrobiyal aktivite çalışmasına paralel olarak kil örneğinde X-ışınları kırınımı (XRD), X-ışınları floresans (XRF), Termogravimetri (TG) çalışmaları ile kilin mineralojik ve kimyasal yapısı belirlenmiştir. Ayrıca kilin gözenek yapısı ve yüzey alanını belirlemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Brauer-Emmet-Teller (BET) yöntemleri kullanılmıştır. Tüm bu analizlerden elde edilen sonuçlar antimikrobiyal aktivite değerleri ile ilişkilendirilmiştir. Sahadan alınan kil örnekleği XRD, XRF ve TG analiz sonuçlarına göre illit, dolomit ve kalsit içerdiği tespit edilmiş ve BET sonuçlarına göre kil  $57,002$  m<sup>2</sup>/g gibi geniş yüzey alanına sahip olduğu bulunmuştur. Geniş yüzey alanı kuvvetli absorbans özellik kazandırdığından ve bu geniş yüzey alanı oksidasyon için uygun bir ara yüzey olduğundan bakteriyal üremeyi baskıladığı sonucuna varılmıştır.

\*Corresponding author: [bsopaci@ahievran.edu.tr](mailto:bsopaci@ahievran.edu.tr)

## 1. Introduction

Humankind has been using and preparing equipments made from clays since Neolithic or even Chalcolithic period [1]. Possibly because of the fact that the ceramic surface is not a suitable medium for bacterial or fungal growth, it is one of the widespread material in use today. The medicinal effects related with antimicrobial properties of the clays have already been known for a long time [2, 3].

Clays differ in terms of their chemical and physical properties and are classified into different classes according to these properties. However, the clay structure is mainly composed of alumina and silica, which is called as alumina silicate. The chemical properties of the non-clay minerals are enriched by structural participation, such as Ca, Na, Mg, K, quartz [4]. The other elements that enrich the micro-chemical structure of the clays are organic substances and salts. Unlike the expectation in industrial practice, this micro-chemical environment is the most important properties in medicinal and cosmetic use [4, 5].

Geophagia is an old and widespread behaviour, which is known as consumption of soil minerals and pure clay structures such as illite and smectite by human and animals [6, 7]. Clay minerals as a natural nano-structures as well are also good adsorbent, ion-exchanger material they are rich in mineral and therefore have a widespread healing effects mainly on skin and gastrointestinal diseases [8, 9]. One of the most striking researches about the therapeutic effects of clays has been conducted by Williams *et al.* on the antimicrobial efficacy of the French green clay [10, 11, 12]. Upon the finding of effective treatment of very dangerous necrotizing fasciitis type infectious disease called Bruli ulcer [11], the relationship between the mineralogical and chemical structures was investigated [10]. As a result, it has been stated that the illite-smectite feature of the French green clay is mainly effected by the reduced iron species present in the structure and by the pH buffering ability -by increasing the  $Fe^{2+}$  solubility- in the aqueous medium [10, 13]. Apart from the French green clay, various therapeutical features and antimicrobial effects have been studied and many clay types have been examined in terms of their mineralogical properties. [14, 15, 16] Disinfection of drinking water by clays reported for deactivation or killing of pathogenic microorganisms in water [17]. It is interesting that different clay species may have different microchemical properties and mineralogical structures with similar therapeutic properties. For example, some clay species seem to owe their effective antibacterial properties to the aluminum compounds they contain [18]. The conclusion that can be drawn from all these research above is the non-clay minerals are the most important factor, and the antimicrobial effect is originates from the multifactorial properties of the clay including

microchemical structure (E.g. the pH buffering feature of the clay which increases the solubility of the active soluble mineral) [10, 19].

The identification of the antimicrobial natural minerals, such as different clays types, and the investigation of their effect spectra and mechanisms are important for us for two main purposes. An important advance in terms of medical use is the growing number of pathogenic microorganisms that the medical world has so far pointed out to develop antibiotic resistance to existing chemical agents. When the action mechanisms of clay and natural minerals are examined, it appears that they are caused by a number of physical and chemical interactions that cannot be specific to the metabolic processes and thus bacteria cannot easily become resistant [13, 20]. The second important issue is the environmental impact and environmental management. Natural minerals and clays of soil structure has controlling effect on the micro-fauna of the soil environment [20]. This indicates a mutual environmental interaction, that is, while the chemical and physical structure of the clay in the environment shapes the micro-fauna, the vice versa is also happens at the same time. The micro-fauna will have an impact on all other living species present in the environment. For this reason, the impact on micro-fauna, as a possible antimicrobial factor is important for the evaluation and management of environmental conditions. From the above-mentioned critics, in this study, the microbial activities of clay sample taken from the Davutoglu Bird Sanctuary near Davutoğlan Village, Çayırhan Settlement Unit of Nallıhan District of Ankara province, were investigated. Besides the discovering of potential therapeutic effects of Çayırhan clay the information that can be elucidated from clay samples collected from the region. In-vitro antibacterial effects of clay against different pathogenic bacteria (*E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *E. faecalis*, *B. subtilis*) were studied. Possible antimicrobial effects of clay have been investigated on these bacterial strains. The reason for the selection of this territory is that being far from the industrial regions. Only Çayırhan Thermal Power Plant is located in the region, and the central bird's sanctuary is about 8.5 km away. Davutoğlan is a bird's sanctuary where is located in the place where the Aladağ Stream meets the Sarıyar Dam. Aladağ Stream Born in Bolu province borders from Büyük Kartal hill, it flows in the borders of Seben district and flows into Sakarya River in Sarıyar dam lake area. There is no industrial structure in the basin and a HES. For this reason, the river is among the least polluted rivers in Turkey and especially as one of the richest fauna areas of our country. However, Sakarya River is not at the same situation. Although the Sakarya River has a very large basin area and 3 different sources (Sakaryabaşı, Başkurt and Pınarbaşı sources), the river has a variable flow regime. The amount of water from these sources is not small, but the abundance of agricultural land around the river

and especially the watering of these land in the river upstream, the withdrawal of water from the Sakarya River drastically reduces the river. The Porsuk and Ankara Streams that pass through the city center of Eskisehir and the Alpu district increase the BOD value of the river water. Especially the situation of Ankara Stream is a worrisome dimension, because Ankara's Stream is the water that is treated by Tatlar refining plant where the household waste of the large settlement unit such as Ankara is refined. In addition, these streams are mixed in the treated waters from the purification plants of Ayaş, Polatlı and Nallihan districts. Because of this reason, Sakarya River is unfortunately polluted at the upper side of the basin and most of these pollution elements accumulate as sediments in Sariyar Dam. The Aladağ Stream meets the Sariyar Dam Lake and the area is protected by the Ministry of Environment, but still in the area clean water is contaminated with polluted stream. The vicinity of the Davutoğlan bird sanctuary is at the level of the river. There is green clay layer is seen up to 200 m and red clay is located upper side of the hills. The geological survey of the region has been known for a long time [21, 22].

In this study, antimicrobial examination of green clay specimens taken from Davutoğlan bird sanctuary was made. X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF) and thermogravimetric (TG) studies have been carried out in parallel with the microbiological study in order to evaluate the results of antimicrobial examination together with clay structure. The purpose of the XRD study is to determine clay and other minerals in the green clay, the XRF study was carried out to know the major components and the amount of heavy metals. TG method was applied to support XRD studies and to determine the amount of clay moisture and amount of carbonate minerals. In addition, the clay surface was imaged with a scanning electron microscope at a micro level and the major components were once again identified using the XRF (Energy Dispersive X-ray Analysis) feature of the electron microscope, and the result was compared with the XRF. The Brunauer-Emmett-Teller method (BET) was used to determine the surface area of the clay, and the surface area was determined by N<sub>2</sub> gas absorption. The results of the antimicrobial activity were interpreted with the help of chemical structure of the clay.

## 2. Material and Method

### 2.1. Apparatus

The TG study was carried out with Shimadzu DTG-60H apparatus. The thermogravimetric analyses were carried out in Pt pans at 10 °C/min heating rate under nitrogen atmosphere. The temperature and heat calibrations of both devices were carried out using In and Pb metals.

The surface area of complexes and pyrolyze product NiO were measured by BET method in Quantachrome Nova 2200e device using N<sub>2</sub> with 18 hours degassing time at 110 °C equilibrium temperature.

The major and minor components of the clay were determined Spectro XLABII polarized XRF device and XRD pattern of the clay was obtained using Bruker D8 Advance diffractometer. The surface morphology was also confirmed by Scanning electron microscopy (SEM, FEI NOVANOSEM 650).

### 2.2. Sampling of green clay

The green clay samples were collected from Davutoğlan bird sanctuary located in close proximity of Davutoğlan Village at the beginning of the spring season in which there was a semi dry environmental condition. The samples were collected from the sediment of the basin in the area on which migratory bird colonies hosting. The area at this part was consisting partly watery and majorly muddy and dry soil and clay zones at the season. The muddy and dry clay zones of the area was the most suitable part for collecting samples. Samples were dried and preserved in plastic bags at room temperature in a dry and dark environment until it will be used.

### 2.3. Antimicrobial activities

Bacterial cultures (*E. coli*, *P. aeruginosa*, *E. faecalis*, *B. subtilis*, *S. aureus*) used in this study are stored in Tryptic soy broth containing 20% glycerol at -80 °C. 24 hrs fresh cultures prepared in Hinton Mueller agar. For antimicrobial activity collected clay samples are suspended in Hinton Mueller Broth and these clay (0.5-1.5 mg/mL) containing media are inoculated at final bacterial concentration of 10<sup>4</sup> cfu/mL. Before suspending in the media the clay samples are well grinded with a mortar until it became a powdery dust and sterilized in the oven at 100 °C. Antimicrobial test was performed by pipetting 10 µL samples at 30 min, 1, 2, 3 and 4th hrs and was spread on agar and cultivated at same growth condition. The colonies on which occurred on the agar was observed and counted at 24<sup>th</sup> hours. To be able to observe the bacteriostatic effect it was necessary to check the bacterial growth from overnight culture as well.

## 3. Results

### 3.1. Antimicrobial assessment of Davutoğlan clay

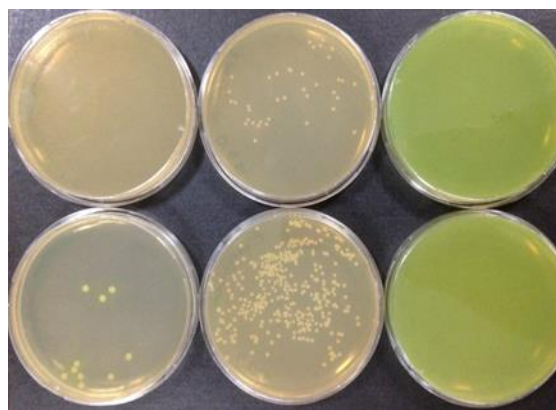
We employed two G(-) (*E. coli*, *P. aeruginosa*) and 3 G(+) (*E. faecalis*, *B. subtilis*, *S. aureus*) common pathogen bacterial species to evaluate the possible bacteriostatic or bacteriocidal effect of Davutoğlan clay. Bacteriocidal function by impeding nourishment, disrupting essential metabolic activities, suffocation (precipitation of a solid phase rendering the cell wall impermeable), poisoning (delivery of a toxin), or physical disruption (cell lysis by bursting or

penetration) [23]. Bacteriostatic antibiotics on the other hand limit the growth of bacteria by interfering with bacterial protein production, DNA replication, or other aspects of bacterial cellular metabolism. However, there is not always a precise distinction between them and bactericidal antibiotics; high concentrations of some bacteriostatic agents are also bactericidal, whereas low concentrations of some bactericidal agents are bacteriostatic [10].

To show the antibacterial agent's bacteriosidic and bacteriostatic activity it is necessary to observe growth inhibition prolonged time (up to 24 hrs) of cultivation with antibacterial agent. According to our observation in all the bacterial strain that have been examined against Çayırhan clay were show suppression growth at first 1-4 hours. Table 1 shows that the clay slurry has a slight bacteriostatic effect at the given concentrations of clay (0.5-1.5 mg/mL) and bacterial strain  $10^5$  cfu/mL. Growth of control experiment was also weak at first hours but clay applied samples in most cases shows growth suppression by clay. Growth of samples taken from 24 hrs were confirming the observation that clay samples has bacteriostatic effect rather than bacteriosidic activity (Picture 1). As the control experiment clay slurry with no bacteria addition was not show growth. There was bacterial colony forming with no culture media addition to clay. Clay poultices prepared with de-ionized water incubated and growth over layer of poultices observed (Picture 2).

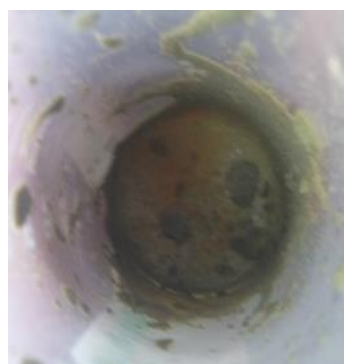
The results of the antimicrobial activity test indicate that the clay sample suppresses the growth of the bacterial population but after 24 hours there is inevitably an increase in the bacterial population. In recent studies in the literature, the inhibition of bacterial growth by clay specimens was reported [18, 19]. In these studies, it was indicated that soluble  $Al^{3+}$  and  $Fe^{3+}$  ions originating from the clay inhibited the bacterial population and that the population did not increase due to the stress which was caused by the  $Al^{3+}$  ion on the cell membranes. In another study, it was reported that the high surface area of clay is a suitable environment for oxidation and this results in

the antimicrobial effect of oxidative stress [10]. The elemental analysis results of the clay samples taken from the Davutoğlan bird sanctuary basin, which were determined by XRF method, are given in Table 2 and XRD pattern obtained in order to determine the composition of clay is given in Graph 1 SEM image and EDX analysis of the clay was also performed and the results obtained with XRD was confirmed by EDX (Picture 3).



**Picture 1.** Growth of *P. aeruginosa* with clay (first row) and control experiments (second row) at 1, 4 hrs and overnight cultures

The growth was abundant single type colony greenish yellow colors. Usually this type of Fe rich clay minerals shows sulphur reducing bacterial growth [24].



**Picture 2.** Colony formation over the clay sample prepared with deionized water

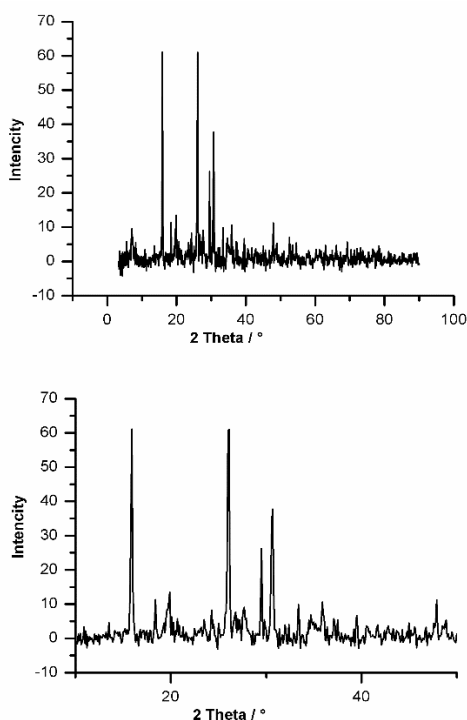
**Table 1.** Number of viable cells from the petri dishes of 1 hrs, 4 hrs and overnight cultures of clay applied and control experiment

	<i>P. aeruginosa</i>		<i>E. coli</i>		<i>B subtilis</i>		<i>E. faecalis</i>		<i>S. aureus</i>	
	Clay	CG	Clay	CG	Clay	CG	Clay	CG	Clay	CG
<b>1 hrs</b>	-	10	-	2	4	38	22	62	30	112
<b>4 hrs</b>	10	172	1	18	10	54	91	168	50	390
<b>o/n</b>	Biofilm	Biofilm	Biofilm	Biofilm	Biofilm	Biofilm	Biofilm	Biofilm	Biofilm	Biofilm

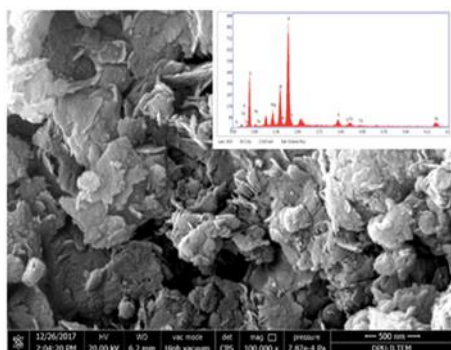
O/n, overnight culture; Clay, growth on clay added media; CG, control experiment

**Table 2.** Elemental analysis results found in Davutoğlan clay with XRF

Major Components (%)			Minor elements (ppb=µg/kg)								
Component	%		Component	ppb	Component	ppb	Component	ppb			
1	Na <sub>2</sub> O	4.67	1	Co	34.3	15	Mo	3.0	29	Tl	0.8
2	MgO	4.54	2	Ni	53.4	16	Cd	0.9	30	Bi	0.6
3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.19	3	Cu	21.2	17	In	0.9	31	Th	6.5
4	SiO <sub>2</sub>	52.39	4	Zn	61.5	18	Sn	1.1	32	U	10.6
5	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0023	5	Ga	17.6	19	Sb	1.1			
6	Cl	0.02	6	Ge	0.8	20	Te	1.4			
7	K <sub>2</sub> O	3.09	7	As	8.6	21	I	4.8			
8	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.995	8	Se	0.2	22	Ba	401.9			
9	CaO	3.89	9	Br	1.4	23	La	30.1			
10	SO <sub>3</sub>	0.12	10	Rb	93.1	24	Ce	42.2			
11	MnO	0.06	11	Sr	284.6	25	Ta	2.7			
12	TiO <sub>2</sub>	0.51	12	Y	7.6	26	W	2.5			
13	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.019	13	Zr	126.2	27	Hg	0.7			
14	LOI	11.47	14	Nb	16.0	28	Hf	4.1			



**Graph 1.** The XRD pattern of Davutoğlan clay



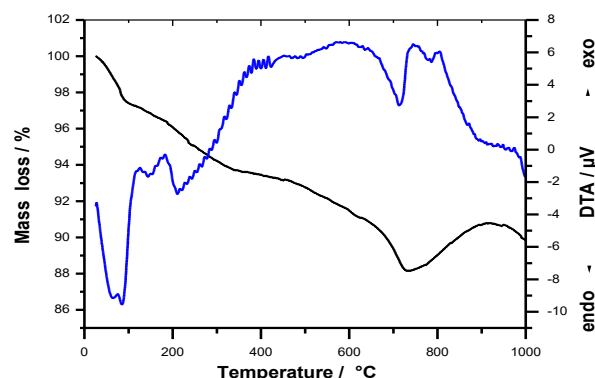
**Picture 3.** SEM analysis and EDX results of Davutoğlan clay XRF analysis shows large clay minerals in the clay material and some carbonates of the IIA group elements

Existing of 4.54% MgO and 3.89% CaO in Davutoğlan clay indicates that some calcite + dolomite is also present in the mineral structure. Mineral mixtures coming from clay and limestone usually named as marls by geologist, in some geological literature sources this green clay in this region is also named as Davutoğlan-Çayırhan marls [21, 22]. The composition which is given in the Table 2 was also supported by XRD pattern of the clay (Graph 1). There are 4 significant diffractions observed in the XRD curve. They were diffracted at 2θ values of 15.593, 26.027, 29.495 and 30.480° respectively. The first intense peak is probably from the clay mineral called illite, the second peak from quartz or illite mineral. As it is known, the clay is dominated by aluminum oxides and hydroxides between the two-dimensional silicon dioxide plates. Part of the Al (III) ion in the clay can be replaced by Mg(II), Ca(II), K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> ions. Because of this reason, it can be concluded that all of the amount of MgO and CaO calcite found in the clay can't be originated from dolomite mineral. Some Ca (II) and Mg (II), should be possibly coming from illite mineral. The intense peak at 26.027 ° can be attributed to SiO<sub>2</sub> platelets illite mineral or from free SiO<sub>2</sub>. The peaks observed at 29.495 and 30.480 ° show calcite and dolomite minerals existence in the clay.

XRF results show that there are sufficient amounts of Al<sup>3+</sup> and Fe<sup>3+</sup> in Davutoğlan clay. In this case, it was expected that to show we should have observed more effective antimicrobial activity on the bacterial species that have been tested according to the literature. Instead we observed a limited antimicrobial effect which can be expressed as growth suppression at the given bacterial inoculation and clay concentration. But in the literature, the pH value for growth inhibition is in the weak acidic region which is 4.6-4.7 [18,19]. Inhibition was observed in the acidic medium. At this pH value, the

solubility of  $\text{Al}^{3+}$  ion for the clays is quite high [25]. At  $\text{pH} = 4.6$ , there is sufficient amount of  $\text{Al}^{3+}$  in the medium, which prevents the bacterial population from increasing. When it comes to our experimental condition we see an alkali  $\text{pH}$  (9.7-10). After Davutoğlan clay was mixed with distilled water and suspended, the  $\text{pH}$  value was measured as 9.7-10. The solubility of  $\text{Al}^{3+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  ions at this  $\text{pH}$  is too small to be measured. Considering that clay minerals and exchangeable ions also has a buffering effect, it would be cleared up why there were no significant antimicrobial effect although the sufficient amount of  $\text{Al}^{3+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  exist. For this reason, there is also no possibility to link the cause of the weak antimicrobial effect observed in this study to  $\text{Al}^{3+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  ions. The reason for the poor antimicrobial activity observed might possibly is the broad surface of the clay as a suitable interface for oxidation.

The calcite and dolomite limestone minerals of Davutoğlan clay structure are supported by the results of thermogravimetric analysis (Graph 2). According to the Graph 2, a mass loss of about 2% is observed in the sample heated to about 100 °C. It is because of the water absorbed by the clay, since this mass loss is endothermic. Then, as the temperature rises, a mass loss of about 11% from a temperature of 200 °C to a temperature of 800 °C is observed. These mass losses are probably due to dehydration of clay minerals in the material and decarboxylation of carbonate minerals, namely calcite and dolomite. The endothermic signal beginning at 630 °C and completed at 800 °C is the decarboxylation signal of a typical  $\text{CaCO}_3$  mineral. The XRF analysis results are consistent with the TG given as the heating mass loss given as LOI (Lost of ignition). In TG operation,  $\text{O}_2$  gas was supplied at a temperature of 800 °C and there were no exothermic signal was observed at this temperature range, indicating that there is no organic residue in the clay sample. As can be seen from the XRF results, the clay is a quite a poor in P element. In summary, only the potassium is present in the clay as nutritive element, the organic matter and the P in the clay are also very few. The solution obtained by treating the media obtained from clay by rinsing it with hot water and then mixing with  $\text{H}_2\text{SO}_4$  and  $\text{KMnO}_4$  found to be free of any organic material [26]. In this case, there are no organic or inorganic nutrients in the clay. Only K of NPK essential nutrients and Ca, Mg and Fe are essential elements [27]. But there was still bacterial colony forming was observed on the poultices obtained with no culture media addition to clay. Clay poultices prepared with de-ionized water incubated and growth over layer of poultices observed (Picture 2). The growth was seen as abundant single type colony greenish yellow colors. This might be the type of metal reducing bacterial colonies that can be absorbed by the clay [28].



**Graph 2.** The TG-DTA curve of Davutoğlan clay. Black, TG; blue, DTA curves

Davutoğlan Bird Sanctuary is located in the place where Aladağ Stream meets with the Sakarya River, more precisely in the Sarıyar Dam pond. Aladağ Stream is originated from the Kartalkaya region of the Koroğlu Mountains in the Bolu province of Turkey. It flows into the Seben county boundaries and merges with the Sarıyar dam at Kıztepe location 2 km away from Davutoglu village within the boundaries of Nallıhan district. There is no industrial facility on the road of river and it is not in a big settlement. There is a small irrigation pond just around Kartalkaya called Aladağ pond. There are 4 villages and 2 HES on the flow route and there are no treatment plants. In summary, Aladağ Stream is one of the rare rivers that can drift in the summer and winter, yet remain untouched by urbanization and industrial pollution. The surrounding area with rice farming and fruit gardens but still is not a region with high population density. It cannot be said that Aladağ Stream is affected too much by agriculture and industrial pollution. Due to this reason, it is not highly probable that the nutritional materials for microbial growth can be carried to Davutoğlan. The risk of aquatic pollution in Davutoğlan is actually coming from the Sakarya River. Especially in the spring season, the dam causes a lake formation in the bird sanctuary a few km in diameter. It is more probable that the pollutants that may come from the Sakarya River are likely to accumulate around the sanctuary because the clays and marl are strong absorbent materials. The poor antimicrobial activity of the Davutoğlan clay can be explained by the large surface area of the clay and the formation of a suitable interface for oxidation due to this large surface [10]. It would be possible to increase the bacterial population if there are appropriate nutrients for the bacteria in the environment. However, the results of the analysis show that for now, there is no dangerous accumulation on the clay. Otherwise, if the nutrient elements accumulate, it is obvious that the antimicrobial effect will be observed much less because the Davutoğlan clays do not have  $\text{Al}^{3+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  release due to the alkali aqueous environment. Also the natural microbial fauna would be effected and as a result the chemical properties of the clay and soil would be changed in return.



#### 4. Discussion and Conclusion

Antimicrobial activity was determined by using five bacterial cultures on green clay specimens taken from the Davutoğlan Bird Sanctuary in the Nallıhan district borders. Initially, a weak antimicrobial activity was observed, but after 24 hours antimicrobial activity could not prevent the bacteria from proliferation. The situation was explained in the light of the literature. It was concluded that Davutoğlan's clay did not produce  $Al^{3+}$  and  $Fe^{3+}$  release due to their alkali environment in aqueous mixtures and therefore did not produce a strong antimicrobial effect. It is also concluded that the area is still protected from organic pollution which gives a balanced microbial fauna but still should be accepted as delicate for the chemical and biological environment of the bird sanctuary soil.

#### References

- [1] Öz, S., Demirci, Ş. 2017. Arkeokimya Genel Bakış. 1. Baskı. Gazi Kitabevi, Ankara, 84s.
- [2] Photos-Jones, E., Keane, C., Jones, A. X., Stamatakis, M., Robertson, P., Hall, A. J., Leanord, A. 2015. Testing Dioscorides' medicinal clays for their antibacterial properties: the case of Samian Earth. *Journal of Archaeological Science*, 57(2015), 257-267.
- [3] Hall, A. J., Photos-Jones, E. 2008. Accessing past beliefs and practices: the case of Lemnian Earth. *Archaeometry*, 50(6), 1034-1049.
- [4] Carretero, M. I., Pozo, M. 2010. Clay and non-clay minerals in pharmaceutical and cosmetic industries Part II. Active ingredients, 47(3-4), 171-181.
- [5] Carretero, M. I. 2002. Clay minerals and their beneficial effects upon human health. A review. *Applied Clay Science*, 21(3-4), 155-163.
- [6] Carretero, M.I., Gomes, C.S.F., Tateo, F. 2006 Clays and Human Health: Handbook of Clay Science. Elsevier Ltd. Vol 1. 221s.
- [7] Slamova, R., Trckova, M., Vondruskova, H., Zraly, Z., Pavlik, I. 2011. Clay minerals in animal nutrition. *Applied Clay Science*, 51(4), 395-398.
- [8] Carretero, M. I., Pozo, M. 2010. Clay and non-clay minerals in the pharmaceutical and cosmetic industries Part II. Active ingredients. *Applied Clay Science*, 47(3-4), 171-181.
- [9] Gomes, C. S. F., Silva, J. B. P. 2007. Minerals and clay minerals in medical geology. *Applied Clay Science*, 36(1-3), 4-21.
- [10] Williams, L. B., Haydel, S. E., Giese, R. F., Jr., Eberl D. D. 2008. Chemical and mineralogical characteristics of French green clays used for healing. *Clays Clay Miner*, 56(4), 437-452.
- [11] Williams, L. B., Holland, M., Eberl D. D., Brunet, T., De Courrsou, B. 2004. Killer clays! Natural antibacterial clay minerals. *Mineralogical Society Bulletin*, (139), 3-8.
- [12] Haydel, S. E., Remenih, C. M., Williams, L. B. 2008. Broad-spectrum in vitro antibacterial activities of clay minerals against antibiotic-susceptible and antibiotic-resistant bacterial pathogens. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 61(2), 353-361.
- [13] Williams, L. B., Metge, D. W., Eberl, D. D., Harvey, R. W., Turner, A. G., Prapaipong, P., Poret-Peterson, A. T. 2011. *Environmental Science & Technology*, 45(8), 3768-3773.
- [14] Cervini-Silva, J., Nieto-Camacho, A., Ramírez-Apan, M. T., Gómez-Vidales, V., Palacios, E., Montoya, A., Ronquillo de Jesús, E. 2015. Anti-inflammatory, anti-bacterial, and cytotoxic activity of fibrous clays. *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*, 129, 1-6.
- [15] Zarate-Reyes, L., Lopez-Pacheco, C., Nieto-Camacho, A., Palacios, E., Gómez-Vidales, V., Kaufhold, S., Ufer, K., García Zepeda, E., Cervini-Silva J. 2017. Antibacterial clay against gram-negative antibiotic resistant bacteria. *Journal of Hazardous Materials*, 342, 625-632.
- [16] Mpuchane, S. F., Ekosse, G. I. E., Gashe, B. A., Morobe, I., Coetzee, S. H. 2010. Microbiological characterisation of southern African medicinal and cosmetic clays. *International Journal of Environmental Health Research*, 20(1), 27-41.
- [17] Unuabonah, E. I., Ugwuja, C. G., Omorogie, M. O., Adewuyi, A., Oladoja, N. A. 2018. Clays for efficient disinfection of bacteria in water. *Applied Clay Science*, 151, 211-223.
- [18] Londono, S. C., Hartnett, H. E., Williams, L. B. 2017. Antibacterial activity of aluminum in clay from the colombian amazon. *Environmental Science & Technology*, 51(4), 2401-2408.
- [19] Morrison, K. D., Misra, R., Williams, L. B. 2016. Unearthing the antibacterial mechanism of medicinal clay: a geochemical approach to combating antibiotic resistance. *Scientific Reports*, 6,19043.
- [20] Huang, P. M., Wang, M. K., Chiu, C. Y. 2005. Soil mineral-organic matter-microbe interactions: Impacts on biogeochemical processes and biodiversity in soils. *Pedobiologia*, 49(6), 609-635.
- [21] Kalafatçioğlu, A., Uysallı, H. 1964. Geology of the Beypazarı-Nallıhan and Seben region. *Bulletin of the mineral research and exploration*, 62, 1-13.
- [22] Helvacı, C. 2010. Geology of the Beypazarı trona field, Ankara, Turkey. *Mid-congress Field Excursion Guide Book, Tectonic Crossroads:*

- Evolving Orogens of Eurasia-Africa-Arabia, 4-8 Ekim, Ankara, 33s.
- [23] Nolte, W. A. 1982. Oral Microbiology. Mosby, London, 34s.
- [24] Liu, D., Dong, H., Bishop, M. E., Zhang, J., Wang, H., Xie, S., Wang, S., Huang, L., Eberl, D. D. 2012. Microbial reduction of structural iron in interstratified illite-smectite minerals by a sulfate-reducing bacterium. *Geobiology*, 10(2), 150-162.
- [25] Spiro, T. G., Purvis-Roberts, K. L., Stigliani W. M. 1996. Chemistry of the environment. 3rd edition. University Science Books, North America, 595s.
- [26] Gündüz, T. 1984. Kantitatif analiz laboratuvar kitabı. 3. baskı. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Ankara, 208s.
- [27] Kaim, W., Schwederski, B. 2004. Bioanorganische Chemie. 4. Durchgesehene Auflage. B. G. Teubner Verlag, Leipzig, 14s.
- [28] Jiang, D., Huang, Q., Cai, P., Rong, X., Chen, W. 2007. Adsorption of *Pseudomonas putida* on clay minerals and iron oxide. *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*, 54(2), 217-221.

## İспенç Tavuğu ve Horozlarında Bazı Morfolojik Özellikler

Demir ÖZDEMİR

Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, 07058, Antalya  
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2160-6485>)

(Alınış / Received: 31.07.2019, Kabul / Accepted: 27.11.2018, Online Yayınlanma / Published Online: 16.03.2019)

### Anahtar Kelimeler

İспенç tavuğu,  
Minyatür tavuk,  
Morfolojik  
Karakterizasyon,  
Yerli tavuk ırkları

**Özet:** Bu araştırma, uzun yıllardır ülkemiz şartlarına başarı ile uyum sağlamış İспенç genotipine ait horoz ve tavuklarda bazı morfolojik standartları belirlemek amacıyla yapılmıştır. Araştırmada İспенç genotipine ait 105 horoz ve 146 tavukta 27 farklı morfolojik parametre incelenmiş ve örneklemeler Ankara, İzmir ve Antalya illerinde yetiştirilen farklı yaş dönemlerindeki farklı İспенç popülasyonlarında yapılmıştır. Araştırma bulgularına göre İспенç genotipinde vücut deri rengi beyaz olarak saptanmış ve tüm hayvanlarda yanak ve sakal tüyleri gözlenmiştir. İспенç genotipinin her iki cinsiyetinde de ayak bileklerinde paça tüyleri saptanmış ve her ayakta 5 adet parmak oluşumu gözlenmiştir. İспенç horoz ve tavuklarında ortalama canlı ağırlık sırasıyla 0.733 ve 0.582 kg, vücut uzunluğu 41.85 ve 35.59 cm, açık kanat uzunluğu 50.04 ve 54.46, sırt uzunluğu 11.58 ve 10.98 cm, göğüs genişliği 61.42 ve 55.32 mm ve boyun uzunluğu 71.71 ve 69.17 mm olarak saptanmıştır. Horozlarda yaş dönemi ile birlikte kafatası uzunluğu ( $P<0.05$ ), kafatası genişliği ( $P<0.05$ ), ibik uzunluğu ( $P<0.001$ ), ibik genişliği ( $P<0.001$ ) ve oküler genişlik ( $P<0.05$ ) değerleri önemli düzeyde artarken, tavuklarda yaş dönemi ile birlikte kafatası uzunluğu ( $P<0.05$ ), ibik uzunluğu ( $P<0.001$ ), ibik genişliği ( $P<0.001$ ) ve oküler uzunluk ( $P<0.05$ ) değerlerindeki artış önemli bulunmuştur. Sonuç olarak bu araştırma İспенç genotipi üzerinde yapılan ilk çalışma niteliğindedir. Araştırma bulgularının İспенç genotipinin yerli tavuk ırkı olarak tescil edilme sürecine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## Some Morphological Characteristics of İспенç Roosters and Chickens

### Keywords

İспенç fowl,  
Miniature chicken,  
Morphological  
characterization,  
Native chicken breeds

**Abstract:** This research was carried out to determine some morphological standards of İспенç roosters and chickens that have successfully adapted to the conditions of Turkey for many years. In the study, 27 different morphological parameters were investigated on 105 roosters and 146 chickens of İспенç genotype and the birds were sampled from different populations of different age groups that are grown in Ankara, İzmir and Antalya provinces. According to the research findings, the skin colour was white in the İспенç genotype and muff and beard feathers were observed in all animals. Both genders of the İспенç genotype were feather legged and 5 toes were observed in each foot. The average body was 0.733 and 0.582 kg, body length was 41.85 and 35.59 cm, open wingspan was 50.04 and 54.49, back length was 11.58 and 10.98 cm, chest width was 61.42 and 55.32 mm and neck length was 71.71 and 69.17 mm in roosters and chickens, respectively. With increasing age, there was a significant increase in skull length ( $p<0.05$ ), skull width ( $p<0.05$ ), comb length ( $p<0.001$ ), comb width ( $p<0.001$ ) and ocular width ( $p<0.05$ ) in roosters, and skull length ( $p<0.05$ ), comb length ( $p<0.001$ ), comb width ( $p<0.001$ ) and ocular length ( $P<0.05$ ) in chickens. It is thought that the results of this first research on the İспенç genotype will provide an important contribution to the İспенç genotype, which has the potential to be registered as a native chicken breed.

### 1. Giriş

Hayvansal üretim her geçen gün artan insan popülasyonunun ihtiyaçlarının karşılanmasında oldukça önemli bir paya sahip olmaktadır. İhtiyaçlara

bağlı talep artışı sanayi ve teknolojinin de gelişimi ile entansif hayvancılık uygulamalarında yüksek verime sahip az sayıdaki kültür ve sentetik ırklar üzerine yoğunlaşılmasına sebebiyet vermiştir. Bu yönelim yerli (lokal) ırkların üretimde daha az tercih

edilmesine ve dolayısıyla giderek yok olmalarına neden olmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu'nun (FAO) 2015 yılında yayınladığı gıda ve tarımda kullanılan hayvan genetik kaynaklarını konu alan raporunda dünya çiftlik hayvanları genetik kaynaklarının % 17'sinin yok olma tehlikesiyle karşı karşıya olduğu, bu kaynakların % 58'inin risk durumuyla ilgili ise hiçbir kayıt bulunmadığı belirtilmiştir [1]. Aynı raporda 2000 ve 2014 yılları arasında 100 adet çiftlik hayvanı ırkının yok olduğu ve en fazla genetik kaybın kanatlı türlerinde yaşandığı belirtilmiştir [1].

Ticari tavukçuluğun başlamasından bu yana tavuk genetik çeşitliliği, yüksek verimli hatlara olan ilgi nedeniyle büyük bir kayba uğramış ve bunun sonucunda düşük ticari verime sahip birçok yerel tavuk ırkı yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır [2, 3, 4]. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hayvansal üretimde en hızlı gelişme tavukçuluk sektöründe sağlanmış, ihtiyaç duyulan yumurta ve piliç eti üretimi tamamen yüksek verimli, yabancı orijinli hibritler üzerine odaklanmıştır; düşük verimli yerel tavuk ırkları üretim prosesinde tercih edilmemiştir. Günümüzde Türkiye'deki mevcut tavuk ırkları, envanteri ve risk durumları hakkındaki bilgiler oldukça sınırlı kalmıştır. Mevcut tavuk ırklarının atası olarak kabul edilen Kırmızı Orman Tavuğu'nun M.Ö. 2000'li yıllarda Çin ve Hindistan bölgesinde ilk evcilleştirilmelerinden bu yana Asya ve Avrupa arasında bir köprü görevi gören ve birçok medeniyete ev sahipliği yapmış Anadolu'da çeşitli yerel tavuk ırklarının varlığına rağmen, bugün sadece Denizli ve Gerze tavuk ırklarının resmi olarak tanınması bu konuda yapılan çalışmaların yetersizliğini göz önüne sermektedir.

Son zamanlarda gen kaynaklarının korunmasına yönelik tüm dünyada bilimsel, ekonomik, yasal ve sosyal gelişmeler hız kazanırken, uzun yıllardır ülkemizde bulunan yerel tavuk genotiplerimizle ilgili ne yazık ki yeterli düzeyde bilgi sağlanamamıştır [5]. Yerli tavuk ırkı tanımlamalarına katkıda bulunmak amacıyla planlanan bu çalışmada, geçmişten günümüze ülkemizin çeşitli bölgelerine uyum sağlamış ve verimli bir biçimde yetiştiriciliği yapılan *İspenç tavuğu* ve *İspenç horozu* incelenmiştir. Bu genotipe dair herhangi bir bilimsel araştırmanın bulunmaması nedeniyle araştırma bulgularının hem gen kaynaklarının korunmasına hem de alan yazına bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Küçük vücut yapısı itibarıyla minyatür bir tavuk ırkı olan ve Türkiye'de uzun yıllardır hobi ve süs tavuğu yetiştiricileri tarafından ilgi ile yetiştirilen İspenç genotipi, halk arasında hareketli, agresif tavırları sebebiyle "cin" ve ayak bileğini tamamen örten tüyleri nedeniyle "paçalı" gibi isimlerle de tarif edilmektedir. Irkı yetiştiren ilgili yetiştiricilerin internet üzerinden katıldığı tartışma platformlarında [6] İspenç tavuğunun Osmanlı İmparatorluğu

döneminde çoğunlukla gayri Müslümler tarafından yetiştirildiği ileri sürülmektedir. Nitekim "İspenç" isminin Osmanlı İmparatorluğu döneminde gayri Müslümlerden alınan bir çeşit tarım vergisi anlamına gelen "İspenç" kelimesinden türediğine dair bilgiler de literatürde yer almaktadır [7]. Denizli ve Gerze tavuk ırklarında olduğu gibi İspenç genotipinin ülkemizdeki geçmişi hakkında da somut bir bilgi bulunmamasına rağmen Mersin'in Mut ilçesi yakınlarında yer alan ve M.S. 5. Yüzyıla ait Dağ Pazarı Kilisesinin taban mozaiklerinde İspenç tavuğu figürlerine rastlanmıştır [8]. Kendine has özellikleriyle uzun yıllardır ülkemizin çeşitli bölgelerinde yetiştirilen İspenç genotipi, küçük vücut yapısı ve farklı renk varyetelerinin yanı sıra düşük yem tüketimi (60-65 g/gün) ve yumurta verimiyle (160-180 adet/yıl) de hobi tavukçuluğu yapan yetiştiriciler tarafından tercih edilen bir kümes hayvanı olarak dikkat çekmektedir (yetiştirici koşullarında elde edilen verilerdir). Avrupa Kanatlı-Güvercin-Kafes Kuşu-Tavşan ve Kobay Yetiştiricileri Birliği (EE) tarafından 2016 yılında yayınlanan minyatür tavuk ırkı standartları raporunda dünya genelinde 151 adet minyatür tavuk ırkı tanımlanmıştır [9]. Tanımlanan minyatür tavuk ırkları arasında henüz yer almayan İspenç genotipi Hollanda ve Belçika'da yetiştirilen minyatür tavuk ırklarıyla fenotipik olarak benzerlik gösterse de sahip olduğu ibik yapısı, parmak sayısı, vücut duruşu, kılıç ve paça tüyleri gibi spesifik karakterler bakımından Avrupa'daki benzerlerinden farklılık göstermektedir.

Son yıllarda çiftlik hayvanları genetik kaynaklarının biyoçeşitliliğinde yaşanan kayıplar dikkat çekici hale gelmiş ve mevcut hayvan ırklarının tanımlanmasına yönelik araştırmalara olan yönelim artmıştır. Çiftlik hayvanları genetik kaynaklarının tanımlanmasında son zamanlarda genomik karakterizasyon yöntemleri geliştirilmiş olsa da hayvan genetik kaynaklarının çeşitliliğinin etkili bir şekilde değerlendirilmesinde fenotipik karakterizasyon ön koşul olarak gösterilmekte ve hayvan ırklarının tanımlanmalarında genomik bilginin mutlaka fenotipik ve morfolojik tanımlamalarla desteklenmesi gerektiği bildirilmektedir [10]. Bu kapsamda, araştırmanın amacı uzun yıllardır ülkemiz şartlarına başarı ile uyum sağlamış, yerli tavuk ırkı olarak tescil edilme potansiyeli olan İspenç genotipine ait tavuk ve horozlarda bazı morfolojik standartları belirlemek ve ırkın tescili için gerekli fenotipik ve morfolojik verileri sağlamaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırmanın hayvan materyalini İspenç genotipine ait çeşitli yaş dönemlerindeki 146 tavuk ve 105 horoz oluşturmuştur. Örneklemeye yapılan hayvanlar Ankara (Polatlı), İzmir (Urla, Menderes, Karabağlar, Buca), Antalya (Konyaaltı, Kepez, Muratpaşa) illerindeki Türkiye Süs Tavukları ve Bahçe Hayvanları Federasyonu'na bağlı İspenç Kulübü üyesi yetiştirici

kümeslerinden sağlanmıştır. Hayvanların yaşlarına ait veriler yetiştiriciler tarafından tutulan kayıtlardan sağlanmıştır. İspenç tavuk ve horozlarına ait bazı fenotipik özelliklerin belirlenmesinde FAO [10] tarafından tavuklar için önerilen fenotipik ölçüm yöntemleri ve Francesch vd.'nin [11] belirttiği zoometrik ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. Tavuk ve horozlara ait çift uzuvların ölçümünde hayvanın sadece sağ tarafından örnekleme yapılmıştır. Ölçümler sırasında bir kişi hayvanı ölçüm pozisyonunda tutmuş diğer kişi ölçüm yapmıştır. Kişiye bağlı ölçüm hatalarını minimize edebilmek için tüm ölçümler yazar tarafından yapılmıştır.

Bireysel olarak örneklenen tavuk ve horozlarda 3 kategoride toplam 27 morfolojik parametre incelenmiştir.

### 2.1. Genel vücut ölçümleri

Canlı ağırlık, vücut uzunluğu, açık kanat uzunluğu, sırt uzunluğu, göğüs genişliği ve boyun uzunluğu olmak üzere 6 morfometrik parametre saptanmıştır.

*Canlı ağırlık:* Tartımlar bireysel olarak 0.01 g hassasiyetteki portatif dijital terazi ile yapılmıştır.

*Vücut uzunluğu:* Ölçüm yapılacak tavuk veya horoz, üzerinde şerit metre bulunan ölçüm düzlemine sırt üstü yatırılmış; gaga ucu ile kuyruğun son uç noktası arasındaki mesafe ölçülmüştür.

*Açık kanat uzunluğu:* Sırt üstü ölçüm düzlemine yatırılan hayvanların kanatları açılarak her iki kanatın en uzun primer tüyleri arasındaki mesafe şerit metre ile ölçülmüştür.

*Sırt uzunluğu:* Son boyun omurunun vücut ile birleştiği nokta ile pigostil arasındaki mesafenin 0.01 mm hassasiyetteki dijital kumpas ile ölçümüyle saptanmıştır.

*Göğüs genişliği:* Ölçüm düzlemine yatırılan tavuk ve horozların göğüs genişlikleri 0.01 mm hassasiyetteki dijital kumpas ile ölçülmüştür.

*Boyun uzunluğu:* Ölçüm yapılacak tavuk veya horoz sol tarafı üzerine ölçüm düzlemine yatırılarak boyun omurlarının vücutla birleştiği nokta ile ense kökü arasındaki mesafe 0.01 mm hassasiyetteki dijital kumpas ile ölçülmüştür.

### 2.2. Baş Ölçümleri

İbik uzunluğu, ibik genişliği, oküler uzunluk, oküler genişlik, gaga uzunluğu, gaga genişliği, kulak lobu uzunluğu, kulak lobu genişliği, sakal uzunluğu ve sakal genişliğine ait ölçümler Şekil 1'de gösterildiği üzere 0.01 mm hassasiyette dijital kumpas kullanılarak yapılmıştır.

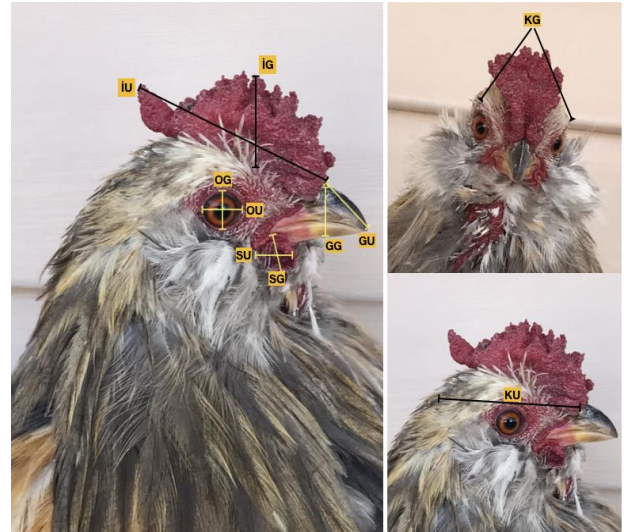
*Kafatası Uzunluğu:* Gaganın kafatası birleşimi ile oksipital kemik arasındaki mesafenin 0.01 mm hassasiyetteki dijital kumpas ile ölçümüyle saptanmıştır (Şekil 1).

*Kafatası genişliği:* Göz hizasından kafatası kemiğinin genişliği 0.01 mm dijital kumpas ile ölçülmüştür (Şekil 1).

### 2.3. İncik ve ayak ölçümleri

İncik ve ayaklar üzerinde yapılacak incelemelerde parmak sayısı, orta parmak uzunluğu, incik uzunluğu ve incik çapı olmak üzere 4 morfolojik ölçüm yapılmıştır. Her bireyde ayak parmak sayıları kaydedilerek orta parmak uzunluğu, incik uzunluğu ve incik çapı 0.01 mm hassasiyetteki dijital kumpas ile ölçülmüştür.

Morfolojik ölçümler dışında ırka ait göz rengi, vücut tüy rengi, deri rengi, kulak lobu rengi, ayak deri rengi ve ibik şekli gibi kalitatif fenotipik özellikler de bireysel olarak kaydedilmiştir.



**Şekil 1.** İspenç horozunda baş bölgesi morfolojik ölçüm yerleri. **İU:** İbik uzunluğu, **İG:** İbik genişliği, **GU:** Gaga uzunluğu, **GG:** Gaga genişliği, **OU:** Oküler uzunluk, **OG:** Oküler genişlik, **KU:** Kafatası uzunluğu, **KG:** Kafatası genişliği.

### 2.4. İstatistik Analiz

Örnekleme yapılan hayvanlara ait kalitatif fenotipik özelliklerin cinsiyete bağlı frekans dağılımları SPSS 22.0 istatistik paket programı kullanılarak hesaplanmıştır [12]. İncelenen bireylerin kantitatif morfolojik özelliklerinin (canlı ağırlık ve vücut ölçümleri) cinsiyet ve yaşa bağlı olarak değişimi SPSS 23.0 istatistik paket programının Genel Doğrusal Model prosedürüne göre analiz edilmiş, gruplara ait ortalamaların karşılaştırılmasında Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır [12].

### 3. Bulgular ve Tartışma

Örnekleme yapılan toplam 251 adet İspenç genotipli hayvanda her iki cinsiyette ibik şekli gül ibik olarak saptanmıştır. İncelenen tüm hayvanlarda vücut deri rengi beyaz olarak saptanmış, her iki cinsiyette de yanak ve sakal tüyleri görülmüştür. İspenç genotipinde diğer tavuk ırklarından farklı olarak her iki cinsiyette beş adet parmak bulunduğu ve ayak bileklerinin tamamen tüylerle kaplı olduğu saptanmıştır. Farklı renk varyetelerine sahip olması nedeniyle süs tavuğu yetiştiricilerinin beğenisini kazanan İspenç genotipine ait gözlenen vücut tüy renkleri ve tüy renklerinin frekansları Tablo 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Araştırma bulgularına göre İspenç genotipinde horozlarda (%14.3) ve tavuklarda (23.3) en fazla görülen tüy rengi, temel sarı vücut tüyleri üzerine beyaz noktaların oluşturduğu sarı karyagdı desenidir. Horozlarda altın keklük deseni (gold partridge) % 10.5 ve kırmızı tüy rengi % 4.8 olarak gözlenirken bu renk desenleri tavuklarda görülmemiştir (Tablo 1). İspenç genotipinde her iki cinsiyette de vücut tüy renklerinin ağırlıklı olarak sarı ve altın tonlarında olduğu saptanmıştır.

**Tablo 1.** İspenç genotipine ait horoz ve tavuklarda gözlenen vücut tüy rengi frekansları.

Vücut Tüy Rengi	Uluslararası Renk Tanımı	Horoz %	Tavuk %
Sarı Karyagdı	<i>Buff Mottled</i>	14.3	23.3
Mavi	<i>Blue</i>	8.6	11
Altın Karyagdı	<i>Gold Mottled</i>	7.6	1.4
Siyah Karyagdı	<i>Black Mottled</i>	8.6	6.8
Altın	<i>Gold</i>	7.6	6.8
Altın Keklik Deseni	<i>Gold Partridge</i>	10.5	-
Beyaz	<i>White</i>	9.5	6.8
Sarı	<i>Buff</i>	7.6	16.4
Kahverengi Karyagdı	<i>Brown Mottled</i>	6.7	17.8
İzabel	<i>Isabel</i>	7.6	4.1
Kırmızı	<i>Red</i>	4.8	-
Lekeli	<i>Splash</i>	6.7	5.5
	N	105	146

İspenç genotipine ait horoz ve tavuklarda gözlenen göz rengi, kulak lobu rengi ve ayak deri rengi özelliklerine ait frekanslar Tablo 2'de verilmiştir. İspenç genotipinde horozlarda (% 88.6) ve tavuklarda (% 82.2) yaygın olarak rastlanan göz rengi turuncu olarak tespit edilmiştir. Kulak lobu rengi tavuklarda ağırlıklı olarak beyaz (% 53.4) ve beyaz üzeri mavi (% 42.5) olarak değişim gösterirken horozlarda en sık rastlanan kulak lobu rengi kırmızı (% 79) olarak saptanmıştır (Tablo 2). İspenç genotipinde ayak deri rengi beyaz, gri, yeşil ve sarı olmak üzere dört grupta toplanmıştır. Tavuklarda en yaygın ayak deri rengi gri (% 55.5) ve beyaz (% 26.7) olarak saptanırken horozlarda görülen ayak deri rengi sırasıyla beyaz (% 34.3), gri (22.9), yeşil (% 21.9) ve sarı (% 21) olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Farklı yaş dönemlerindeki İspenç tavuk ve horozlarının genel vücut ölçümlerine ait ortalamalar

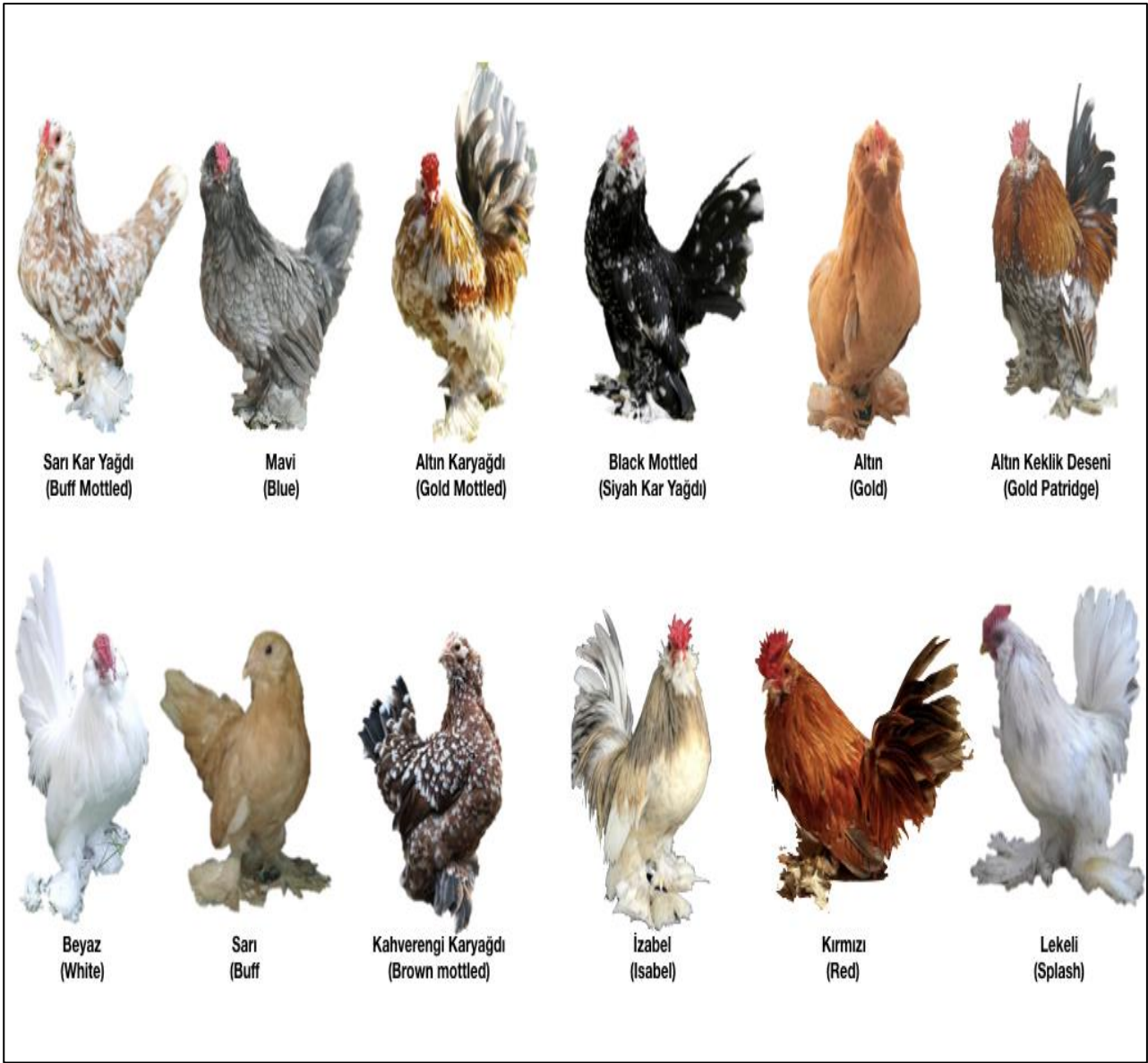
Tablo 3'te verilmiştir. İspenç horoz ve tavuklarında ortalama canlı ağırlıklar sırasıyla 0.733 kg ve 0.582 kg olarak saptanmıştır.

**Tablo 2.** İspenç genotipine ait horoz ve tavuklarda gözlenen göz rengi, kulak lobu rengi ve ayak deri rengi frekansları.

Göz Rengi	Horoz %	Tavuk %
Kahve Rengi	11.4	12.3
Turuncu	88.6	82.2
Sarı Tonları	-	5.5
Kulak Lobu Rengi		
Kırmızı	79	4.1
Beyaz	15.2	53.4
Beyaz Üzeri Mavi	5.7	42.5
Ayak Deri Rengi		
Beyaz	34.3	26.7
Gri	22.9	55.5
Yeşil	21.9	11.6
Sarı	21	6.2
N	105	146

Horozlarda canlı ağırlık, vücut uzunluğu, kanat uzunluğu, sırt uzunluğu ve göğüs genişliği ortalamalarında ilerleyen yaş dönemi ile birlikte artış gözlenmiş ve bu özelliklerin ortalamalarının yaş dönemlerine göre değişimi önemli bulunmuştur ( $P<0.001$ ). Tavuklarda canlı ağırlık ( $P<0.001$ ), sırt uzunluğu ( $P<0.05$ ) ve göğüs genişliği ( $P<0.001$ ) özelliklerine ait ortalamaların yaş dönemlerine göre değişimi önemli bulunmuştur (Tablo 3).

Farklı yaş dönemlerindeki İspenç horoz ve tavuklarının baş bölgesi morfolojik ölçüm ortalamaları Tablo 4'te verilmiştir. Horozlarda yaş dönemi ile birlikte kafatası uzunluğu ( $P<0.05$ ), kafatası genişliği ( $P<0.05$ ), ibik uzunluğu ( $P<0.001$ ), ibik genişliği ( $P<0.001$ ) ve oküler genişlik ( $P<0.05$ ) değerleri önemli düzeyde artarken, tavuklarda yaş dönemi ile birlikte kafatası uzunluğu ( $P<0.05$ ), ibik uzunluğu ( $P<0.001$ ), ibik genişliği ( $P<0.001$ ) ve oküler uzunluk ( $P<0.05$ ) değerlerindeki artış önemli bulunmuştur (Tablo 4). İlerleyen yaş ile birlikte horozlarda gaga uzunluğu ( $P<0.05$ ) ve gaga genişliği ( $P<0.001$ ) özelliklerindeki artış önemli bulunurken tavuklarda gaga uzunluğu ve genişliğinde yaş ile birlikte önemli bir değişiklik saptanmamıştır. Horozlarda, kulak lobu uzunluğu ( $P<0.05$ ), sakal uzunluğu ( $P<0.05$ ) ve sakal genişliği ( $P<0.01$ ); tavuklarda ise kulak lobu uzunluğu ( $P<0.05$ ), sakal uzunluğu ( $P<0.01$ ) ve sakal genişliği ( $P<0.05$ ) özelliklerinin yaş dönemlerine göre değişimi önemli bulunmuştur (Tablo 4). İspenç horoz ve tavuklarının ayak ve bacak bölgesi morfolojik ölçümleri Tablo 5'te verilmiştir. İspenç horoz ve tavuklarında incik uzunluğu değerlerinin yaş dönemine göre değişimi önemli bulunmazken, tavuklarda orta parmak uzunluğu ( $P<0.05$ ) ve horozlarda incik çapı ( $P<0.01$ ) değerlerinin yaş dönemlerine göre değişimi önemli bulunmuştur.



**Şekil 2.** İspenç genotipli tavuk ve horozlarda görülen vücut tüy renkleri. Renklerin uluslararası müsabakalarda kullanılan tanımlamaları parantez içerisinde belirtilmiştir. Şekil araştırmacı tarafından ölçüm yapılan hayvanlar kullanılarak oluşturulmuştur.

**Tablo 3.** İspenç horoz ve tavuklarının farklı yaş dönemlerine ait genel vücut ölçümleri

Yaş Dönemi (hafta)	N	Canlı Ağırlık (kg)	Vücut Uzunluğu (cm)	Açık Kanat Uzunluğu (cm)	Sırt Uzunluğu (cm)	Göğüs Genişliği (mm)	Boyun Uzunluğu (mm)
Horoz		***	***	***	***	***	-
20-52	35	0.659±0.01 <sup>a</sup>	39.21±0.31 <sup>a</sup>	58.46±0.26 <sup>a</sup>	10.86±0.07 <sup>a</sup>	58.61±0.46 <sup>a</sup>	72.31±0.43
52-104	40	0.754±0.01 <sup>b</sup>	42.94±0.34 <sup>b</sup>	58.67±0.28 <sup>a</sup>	11.84±0.06 <sup>b</sup>	61.55±0.49 <sup>b</sup>	71.60±0.40
104+	30	0.785±0.01 <sup>c</sup>	43.40±0.32 <sup>b</sup>	60.00±0.27 <sup>b</sup>	12.03±0.07 <sup>c</sup>	64.09±0.43 <sup>c</sup>	71.24±0.46
Ortalama		0.733±0.01	41.85±0.19	50.04±0.16	11.58±0.04	61.42±0.27	71.72±0.25
Tavuk		***	-	-	*	***	-
20-52	66	0.537±0.01 <sup>a</sup>	36.25±0.30	54.82±0.25	10.80±0.08 <sup>a</sup>	52.48±0.42 <sup>a</sup>	69.60±0.60
52-104	40	0.585±0.01 <sup>b</sup>	36.67±0.38	54.60±0.32	11.04±0.10 <sup>ab</sup>	56.58±0.51 <sup>b</sup>	68.29±0.73
104+	40	0.624±0.01 <sup>c</sup>	36.85±0.38	53.97±0.32	11.10±0.10 <sup>b</sup>	56.89±0.51 <sup>b</sup>	69.23±0.73
Ortalama		0.582±0.01	36.59±0.20	54.46±0.17	10.98±0.05	55.32±0.29	69.17±0.39

\*\*\*: P<0.001; \*: P<0.05; -: P>0.05. Her bir cinsiyet için aynı sütunda farklı harfler taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemli bulunmuştur. - : Önemli değil

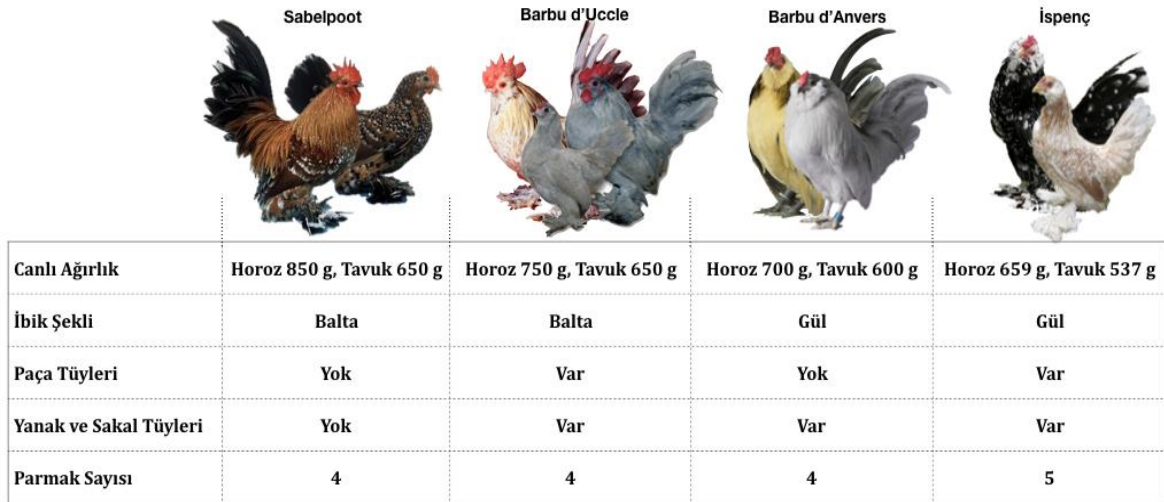
**Tablo 4.** İspenç horoz ve tavuklarının baş bölgesi morfolojik ölçümleri.

Yaş Dönemi (hafta)	N	Kafatası Uzunluğu (mm)	Kafatası Genişliği (mm)	İbik Uzunluğu (mm)	İbik Genişliği (mm)	Oküler Uzunluk (mm)	Oküler Genişlik (mm)
Horoz		*	*	***	***	-	*
20-52	35	41.32±0.34 <sup>a</sup>	23.57±0.16 <sup>a</sup>	38.83±0.68 <sup>a</sup>	17.09±0.35 <sup>a</sup>	10.43±0.17	7.07±0.13 <sup>a</sup>
52-104	40	42.03±0.37 <sup>ab</sup>	24.22±0.15 <sup>b</sup>	46.89±0.63 <sup>b</sup>	18.66±0.38 <sup>b</sup>	10.86±0.16	7.83±0.12 <sup>b</sup>
104+	30	42.69±0.32 <sup>b</sup>	24.27±0.17 <sup>b</sup>	47.20±0.65 <sup>b</sup>	21.35±0.32 <sup>c</sup>	10.37±0.18	7.58±0.14 <sup>b</sup>
Ortalama		42.02±0.20	24.02±0.09	44.31±0.39	19.03±0.20	10.55±0.10	7.49±0.08
Tavuk		*	-	***	***	*	-
20-52	66	39.04±0.30 <sup>a</sup>	22.89±0.13	23.16±0.44 <sup>a</sup>	8.73±0.21 <sup>a</sup>	9.02±0.15 <sup>a</sup>	6.65±0.10
52-104	40	40.14±0.40 <sup>b</sup>	22.88±0.18	28.49±0.57 <sup>b</sup>	9.77±0.29 <sup>b</sup>	9.19±0.19 <sup>ab</sup>	6.89±0.12
104+	40	40.37±0.40 <sup>b</sup>	22.45±0.18	30.03±0.57 <sup>c</sup>	10.75±0.29 <sup>c</sup>	9.64±0.19 <sup>b</sup>	6.90±0.12
Ortalama		38.86±0.21	22.74±0.09	27.23±0.31	9.75±0.16	9.29±0.10	6.82±0.07

Yaş Dönemi (hafta)	N	Gaga Uzunluğu (mm)	Gaga Genişliği (mm)	Kulak Lobu Uzunluğu (mm)	Kulak Lobu Genişliği (mm)	Sakal Uzunluğu (mm)	Sakal Genişliği (mm)
Horoz		*	***	*	-	*	**
20-52	35	17.18±0.17 <sup>a</sup>	9.87±0.09 <sup>a</sup>	15.00±0.21 <sup>a</sup>	12.85±0.14	15.21±0.21 <sup>a</sup>	11.78±0.17 <sup>a</sup>
52-104	40	17.36±0.17 <sup>ab</sup>	10.49±0.09 <sup>b</sup>	15.97±0.20 <sup>b</sup>	13.03±0.13	15.12±0.20 <sup>a</sup>	11.73±0.16 <sup>a</sup>
104+	30	17.71±0.15 <sup>b</sup>	10.67±0.11 <sup>b</sup>	15.27±0.23 <sup>a</sup>	13.00±0.15	15.89±0.23 <sup>b</sup>	11.03±0.19 <sup>b</sup>
Ortalama		17.42±0.09	10.34±0.06	15.41±0.12	12.96±0.08	15.41±0.12	11.51±0.10
Tavuk		-	-	*	-	**	*
20-52	66	16.91±0.16	9.98±0.08	12.11±0.13 <sup>a</sup>	10.37±0.11	11.08±0.18 <sup>a</sup>	7.01±0.16 <sup>a</sup>
52-104	40	16.66±0.21	10.03±0.10	12.53±0.17 <sup>ab</sup>	10.38±0.15	11.76±0.22 <sup>b</sup>	7.40±0.20 <sup>ab</sup>
104+	40	16.91±0.21	10.17±0.10	12.87±0.17 <sup>b</sup>	10.49±0.15	12.13±0.22 <sup>b</sup>	7.57±0.20 <sup>b</sup>
Ortalama		16.83±0.11	10.06±0.06	12.50±0.09	10.41±0.08	11.66±0.12	7.33±0.11

\*\*\*: P<0.001; \*\*: P<0.01; \*: P<0.05; -: P>0.05. Her bir cinsiyet için aynı sütunda farklı harfler taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemli bulunmuştur. -: Önemli değil.

**Şekil 3.** İspenç genotipinin Hollanda Bantam, Barbu d'Uccle ve Barbu d'Anvers minyatür ırkları ile karşılaştırılması [13].

Ülkemizde çok uzun yıllardır yetiştiriciliği yapılan İspenç genotipi sahip olduğu canlı ağırlık sınırları sebebiyle minyatür tavuk ırkları kategorisinde yer almaktadır. EE tarafından 2016 yılında yayınlanan minyatür tavuk ırkı standartları raporunda dünya genelinde 151 adet minyatür tavuk ırkı tanımlanmış [9] ve bu tavuk ırkları arasında Hollanda'da yetiştirilen Sabelpoot (Dutch Bantam) ve Belçika'da yetiştirilen Barbu d'Anvers ve Barbu d'Uccle ırkları, İspenç genotipi ile fenotipik benzerlikler göstermektedir. Ancak vücut canlı ağırlığı bakımından birbirine benzer ağırlıkta olan bu ırklar, ibik şekli, ayak bileği etrafındaki tüylenme, parmak

sayısı ve vücut duruşu bakımından birbirlerinden ayrılmaktadır (Şekil 3). İspenç genotipi ayak bileğini kaplayan paça tüyleri görünümü itibarıyla Sabelpoot ve Barbu d'Uccle (Sabelpoot x Barbu d'Anvers) ırklarına benzerlik göstermektedir. Ancak her iki ırkın da vücut yapısı, vücut duruşu ve ibik şekilleri İspenç genotipinden farklılık göstermektedir. İspenç genotipi her ne kadar sahip olduğu gül ibik şekli ile Barbu d'Anvers ırkına benzerlik gösterse de İspenç genotipinde gül ibik yapısı şekil ve papilla sıraları itibarıyla Barbu d'Anvers ırkından farklılık göstermektedir. Barbu d'Anvers ırkındaki gül ibik şekli kafatası üzerinden oksipital kemiğe doğru basık bir kuyruk biçiminde uzanırken, İspenç genotipinde



gül ibik şekli yoğun papillalı, geniş taç şeklinde ve daha yuvarlak bir biçimdedir. Bu durum İspenç genotipinin ibik şekli bakımından farklı bir allelik yapıya sahip olduğunu ifade etmektedir.

Minyatür tavuk ırklarında düşük vücut ağırlığı ve minyatür vücut tipinin otozomal ve cinsiyete bağlı kalıtım gösteren cücelik genleri (adw, dw, dw<sup>B</sup>) etkisi ile gerçekleştiği bilinmektedir [14, 15, 16]. İspenç tavuk ve horozlarında canlı ağırlık ve morfolojik yapı incelendiğinde İspenç fenotipinde de cücelik genlerinin etkileri görülmektedir. Araştırma bulgularına göre İspenç tavuk ve horozlarında ergin canlı ağırlık ortalamaları sırasıyla 537 ve 659 g olarak saptanırken, hafif ve orta ağır kategorisinde tescil edilmiş yerli tavuk ırklarımızdan Gerze tavuk ve

horozlarında ergin canlı ağırlık sırasıyla 1100 ve 1850 g olarak, Denizli ırkı tavuk ve horozlarında ergin canlı ağırlık sırasıyla 1100 ve 2050 g olarak bildirilmiştir [17]. İspenç genotipinde, canlı ağırlık ortalamalarında olduğu gibi diğer morfolojik ölçümlerde de cücelik genleri etkileri görülmektedir. İspenç tavuk ve horozlarında 20-52 haftalık yaş dönemine ait incik uzunluğu sırasıyla 56.42 mm ve 59.64 mm olarak saptanırken, Raut vd. [18] 20 haftalık yaşta küce tavuk ve horozların incik uzunluğunu sırasıyla 51 mm ve 60 mm olarak bildirmiştir. Cozzi vd.'nin [19] İtalyan minyatür tavuk ırkı Mericanel della Brianza üzerinde yaptıkları morfolojik ölçümlerde horoz ve tavuklara ait incik uzunluğu (sırasıyla 5.45 cm ve 5.12 cm) ve incik çapı

**Tablo 5.** İspenç horoz ve tavuklarının ayak ve bacak bölgesi morfolojik ölçümleri.

Yaş Dönemi (hafta)	N	Parmak Sayısı (adet)	Orta parmak Uzunluğu (mm)	İncik Uzunluğu (mm)	İncik Çapı (mm)
Horoz			-	-	***
20-52	35	5	40.11±0.22	59.64±0.26	9.95±0.11 <sup>a</sup>
52-104	40	5	40.64±0.20	59.46±0.27	10.86±0.10 <sup>b</sup>
104+	30	5	40.07±0.24	59.78±0.28	11.07±0.12 <sup>b</sup>
Ortalama			40.27±0.13	60.09±0.15	10.62±0.06
Tavuk			*	-	-
20-52	66	5	37.07±0.18 <sup>a</sup>	56.42±0.30	9.11±0.09
52-104	40	5	37.59±0.23 <sup>ab</sup>	56.60±0.38	9.25±0.11
104+	40	5	37.99±0.23 <sup>b</sup>	56.78±0.38	9.36±0.11
Ortalama			37.55±0.12	56.60±0.21	9.24±0.06

\*\*\*: P<0.001; \*: P<0.05; -: P>0.05. Her bir cinsiyet için aynı sütunda farklı harfler taşıyan ortalamalar arasındaki fark önemli bulunmuştur. -: Önemsiz

(sırasıyla 6.3 mm ve 4.7 mm) özelliklerine ait ortalamalar İspenç horoz ve tavukları için saptanan değerlerden daha düşük bulunmuştur. Minyatür tavuk ırklarında yapılan araştırmalarda ırktan ırka farklılık göstermekle birlikte horoz ve tavuklarda incik uzunluğunun 18 haftalık yaşa kadar doğrusal olarak arttığı ve 46 haftalık yaşa kadar sabit kaldığı bildirilmiştir [20]. Bu sonuçlara benzer bir biçimde İspenç horoz ve tavuklarında incik uzunluğu değerlerinin yaş dönemine göre değişimi önemli bulunmamıştır.

Tavuklar genel olarak her ayakta dört adet parmağa sahiptirler fakat Silkie, Beijing-You, Dorking, Fizan ve Sultan gibi tavuk ırkları ekstra ayak parmaklarına sahiptirler [21]. Tavuklarda, insanlarda, farelerde ve diğer omurgalılarda çoklu parmak oluşumuna neden olan ve yüksek düzeyde kalıtsal olan bu "çok parmaklılık" (polydactyly) durumuna Po geninin neden olduğu saptanmıştır [22, 23]. Otozomal dominant karakterdeki Po (polydactyly) geninin etkisi İspenç tavuk ve horozlarında da görülmekte ve bu gen etkisiyle İspenç genotipinde her ayakta beş adet parmak oluşumu izlenmektedir. Minyatür tavuk ırkları arasında rastlanmayan beş parmak özelliğinin İspenç genotipinde bulunması, İspenç genotipinin diğer minyatür ırklardan en önemli genetik farklılığı

olarak gösterilebilir.

#### 4. Sonuç

Sonuç olarak İspenç tavuk ve horozlarında bazı morfolojik özellikleri incelemek amacıyla yapılan bu araştırma, İspenç genotipi üzerine yapılan ilk bilimsel araştırma niteliğini taşımaktadır. Özellikle sahip olduğu vücut ölçülerine göre İspenç genotipi Avrupa'da en küçük minyatür ırklar için kullanılan tam Bantam (tam küce) kategorisi içerisinde yer alabilecek olan İspenç tavuk ve horozları için saptanan morfolojik standartların ve fenotipik gözlemlerin moleküler genetik yöntemler kullanılarak desteklenmesi, İspenç genotipinin genetik karakterizasyonunun yapılması ve benzer minyatür tavuk ırklarıyla genetik akrabalıklarının araştırılması İspenç genotipiyle ilgili daha detaylı bilgiye sahip olunmasına olanak sağlayacaktır.

#### Teşekkür

Araştırmanın yürütülmesinde ve örnekleme sırasında yardımları ve desteklerinden ötürü başta Aleksandra Rywacka olmak üzere İspenç Clup ve Türkiye İspenç Kulübü üyelerine ve Türkiye Süs Tavukları ve Bahçe Hayvanları Federasyonu'na teşekkürlerimi sunarım.

**Kaynakça**

- [1] FAO 2015. The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture, edited by B.D. Scherf & D. Pilling. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome <http://www.fao.org/3/a-i4787e.pdf> (Erişim Tarihi: 31 Temmuz 2018).
- [2] FAO (Food and Agriculture Organization). 2007. The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. Edi: Barbara Rischkowsky & Dafydd Pilling. Rome. Italy.
- [3] Özdemir, D., Özdemir, E. D., Marchi, M. D., & Cassandro, M. 2013. Conservation of local Turkish and Italian chicken breeds: a case study. *Italian Journal of Animal Science*, 12(2), e49.
- [4] Ebeğbulem V.N., Ita U.R. 2016. Conservation of Genetic Diversity: It's Relevance in Poultry Production, *Animal molecular Breeding*, 6(3):1-5.
- [5] Özdemir D., Aksoy T. 2015. Yerli tavuk ırkları. *Dünya Dört Mevsim Dergisi*, 13:44-48.
- [6] Anonim, 2016. İspenç ırk özellikleri, İnternet forum sitesi, <http://www.evcilsevgisi.com>, (Erişim Tarihi: 31 Temmuz 2018)
- [7] İnalçık H. 1959. Osmanlılarda Raiyyet Rüşumu, *Bellekten*, 23(92): 575- 610.
- [8] Yılmaz, O. 2012. Güvercin (*Columba Livia*) yetiştiriciliği. *Veni Vidi Vici Yayınları*, Ankara, 218 s.
- [9] EE, 2016. EListing of Bantam breeds, European Association of Poultry, Pigeon, Cage Bird, Rabbit and Cavy Breeders, Technical notes, <http://www.entente-ee.com/sections/poultry/technical/> (Erişim Tarihi: 31 Temmuz 2018)
- [10] FAO, 2012. Phenotypic characterization of animal genetic resources. FAO Animal Production and Health Guidelines No.11. Rome. <http://www.fao.org/docrep/015/i2686e/i2686e00.pdf> (Erişim Tarihi: 31 Temmuz 2018)
- [11] Francesch, A., Villalba, I., Cartaña, M. 2011. Methodology for morphological characterization of chicken and its application to compare Penedesenca and Empordanesa breeds, *Animal Genetic Resources*, 48:79-84.
- [12] IBM Corp. Released 2015. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 23.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- [13] EE, 2006. Rassegeflügel-Standard für Europa in Fabre. Hühner und Zwerghühner, Nürnberg, 800s.
- [14] Cole, R.K. 2000. An autosomal dwarfism in the domestic fowl, *Poultry Science*, 79(11), 1507-1516.
- [15] Chen, C.F., Chen, Y.H., Tixier-Boichard, M., Cheng, P.Y., Chang, C.S., Tang, P.C., Lee, Y.P. 2009. Effects of the chicken sex-linked dwarf gene on growth and muscle development, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(7), 937-942.
- [16] Wang, W.T., Cao, J., Xu, L.X., Chen, B. 2018. A systemic analysis on dwarf gene of Xingyi bantam, *Indian Journal of Animal Research*, 52(2), 179-185.
- [17] TAGEM, 2009. Türkiye Evcil Hayvan Genetik Kaynakları Tanıtım Kataloğu. Ankara. Erişim: <https://www.tarim.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/Katalog%20Türkçe.pdf> (Erişim Tarihi: 31 Temmuz 2018)
- [18] Raut, S.N., Khan, A.G., Nema, R.P., Bhardwaj, J.K. 1996. Influence of sex on shank length and association of shank length with economic traits, in color dwarf Krishna-J layer, *Proceedings of 20th world's poultry Congress September 2-5, 1996. New Delhi, India, Vol. IV p.33.*
- [19] Cozzi, M.C., Colombo, E., Zaniboni, L., Madeddu, M., Mosca, F., Strillacci, Longeri, M., Bagnato, A., Cerolini, S. 2017. Phenotypic and genetic characterization of the Italian bantam chicken breed Mericanel della Brianza, *Livestock Science*, 205, 56-63.
- [20] Yeasmin, T., Howlider, M.A.R. 2013. Effects of autosomal dwarf gene on growth and shank length of chicken, *Bangladesh Veterinarian*, 30(1), 25-32.
- [21] Zhang, Z., Nie, C., Jia, Y., Jiang, R., Xia, H., Lv, X., Chen, Y., Li, J., Li, X., Ning, Z., Xu, G., Chen, J., Yang, N., Qu, L. 2016. Parallel Evolution of Polydactyly Traits in Chinese and European Chickens. *PLoS ONE* 11(2): e0149010.
- [22] Clark, R.M., Marker, P.C., Kingsley, D.M. 2000. A novel candidate gene for mouse and human preaxial polydactyly with altered expression in limbs of Hemimelic extra-toes mutant mice, *Genomics*, 67(1): 19-27.
- [23] He, C., Chen, Y., Yang, K., Zhai, Z., Zhao, W., Liu, S., Ding, J., Dai, R., Yang, L., Xu, K., Zhou, Z., Gu, C., Huang, Q., Meng, H. 2017. Genetic pattern and gene localization of polydactyly in Beijing fatty chicken, *PLoS ONE*, 12(5), e0176113.

## Using Fuzzy Set Theory in the Comparison of Customer Satisfaction Levels

Nur AYVAZ ÇAVDAROĞLU

Kadir Has Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, 34083, İstanbul  
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1240-1357>)

(Alınış / Received: 11.01.2019, Kabul / Accepted: 15.02.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 17.03.2019)

### Keywords

Sharing economy,  
Customer satisfaction,  
Fuzzy set theory,  
New business model

**Abstract:** Customer satisfaction is the key to the survival and profitability of all businesses. In the ever-changing business world, this concept has gained more importance. In particular, in industries where new firms based on new business models emerge, the traditional firms find it more difficult to compete with the new business models in terms of customer happiness. Sharing economy, which is defined as “renting non-frequently used resources (e.g. houses, cars, various commodities) in return of a certain price via digital platforms”, is one of these new concepts that have inspired new business models. A sharing economy-based company, Uber, has gained popularity in a short time. In this study, customer satisfaction levels of Uber and classical taxi firms are compared and the performance of each firm in various service dimensions is measured. Data is collected via questionnaires and analyzed using the fuzzy set theory models. According to the results, Uber performs much higher in all service dimensions with respect to the classical taxi firms. By evaluating the results from a managerial perspective, recommendations are developed for Uber and similar sharing economy-based firms, and the classical firms who want to compete with these new business models.

## Bulanık Küme Teorisinin Müşteri Memnuniyeti Karşılaştırmasında Kullanılması

### Anahtar Kelimeler

Paylaşım ekonomisi,  
Müşteri memnuniyeti,  
Bulanık küme teorisi,  
Yeni iş modeli

**Özet:** Müşteri memnuniyeti tüm işletmelerin hayatta kalması ve kâr edebilmesi için elzemdir. Sürekli değişen iş dünyasında bu konsept daha da önem kazanmaktadır. Özellikle yeni iş modellerine dayanan firmaların ortaya çıktığı sektörlerde klasik şirketler müşteri mutluluğu açısından yeni şirketlerle rekabet etmekte zorlanmaktadır. Az kullanılan kaynakların (ör: ev, araba, çeşitli eşyalar vs.) dijital platformlar yardımıyla belli ücretlerle kiralanması olarak tanımlanabilecek olan paylaşım ekonomisi, bu şekilde yeni iş modellerine ilham veren konseptlerdendir. Paylaşım ekonomisi tabanlı firmalardan biri olan Über, kısa zamanda popülerlik kazanmıştır. Bu çalışmada, Über ve klasik taksi firmaları müşteri memnuniyeti açısından karşılaştırılarak iki tip firmanın çeşitli hizmet boyutlarında nasıl performans gösterdiği ölçülmektedir. Veri toplama anket yöntemiyle gerçekleştirilmiş olup veri analizinde ise bulanık küme teorisi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Über bütün hizmet boyutlarında klasik taksi firmalarına göre çok daha yüksek müşteri memnuniyetine sahiptir. Sonuçlar değerlendirilerek Über ve benzeri paylaşım ekonomisi tabanlı firmalara ve onlarla rekabet edebilmek isteyen klasik iş modellerine sahip firmalara çeşitli yönetsel önerilerde bulunulmuştur.

### 1. Introduction

Sharing economy is defined as a peer-to-peer model of distributing underutilized resources via a fee-based agreement that is realized using digital platforms [1]. The underlying principle in the sharing economy is to meet the underutilized resources (for

instance, a house that is uninhibited most of the time, a car that is not used every day, some house appliances that are not used in daily life, etc.) with the people who need them over a certain time period. The sharing economy concept which is built upon this principle is gaining popularity all over the world, and the firms who create new business models using this

concept, such as AirBnb and Uber, are growing bigger every day.

Although sharing economy has gained importance in the last decade, not much is done on this topic so far in terms of scientific research. To our knowledge there is no study focusing on how the firms working according to the sharing economy principles are better off or worse than the classical firms in the same sector in terms of customer satisfaction. It is evident that customer satisfaction is the key to a successful and profitable growth of a company, and a firm must pay attention to the aspects of its business which raises complaints among the customers. This study focuses on Uber, one of the important firms operating on the sharing economy principles, and aims to create an understanding for similar firms as well as the classical firms who are in competition with them in terms of creating better customer satisfaction levels.

Uber is a transportation company which was founded in 2009 in San Francisco and is now operating in 45 countries. Uber users and drivers get into contact by using an Uber app in digital platforms, and Uber receives a commission over each ride. Since Uber prices are on average 26% cheaper than regular taxi service and since Uber creates a higher customer satisfaction, Uber has gained popularity in a short time [2]. However, there has been no work so far regarding which of the services Uber provides to its customers are more appealing and what is the main reason why Uber is preferred to normal taxi. With this work, it will be evident how the customers are evaluating Uber across various service dimensions, and the weak and strong aspects of Uber and the classical taxi firms. The method which is used to conduct the analysis is the fuzzy logic.

The fuzzy logic is a theory which takes into account the fact that people do not have exact opinions in an uncertain world where there are no absolute answers and the facts are changing dynamically. The fuzzy set theory was first developed by Zadeh [3], then it was presented as a decision-making methodology by Bellman and Zadeh [4], and has been used in a number of problems in various sectors and fields since then. For instance, Büyüközkan et al. [5] apply fuzzy set theory to perform capacity planning in a logistics company, Thomassey et al. [6] use fuzzy logic for forecasting in textile industry, Hwang and Yu [7] apply the same theory for project management of R&D projects and Bottani and Rizzi [8] perform quality control using the fuzzy logic techniques.

The fuzzy set theory has also been used extensively in measuring the customer satisfaction levels in the transportation industry. For instance, Çelik vd. [9] evaluated the public transportation modes in Istanbul by using a type-2 fuzzy logic model which is formed by integrating TOPSIS and GRA methods, and found

that the metrobus, despite their several problematic aspects, were the most effective mode of transport in terms of customer satisfaction. Tsaur et al. [10] analyzed the data they collected via distributing a questionnaire to tour operators by using fuzzy logic and TOPSIS methods, and measured the service quality of three different airline companies. Chou et al. [11] again used survey data and weighted fuzzy SERVQUAL method to evaluate a Taiwanese airline from the customer satisfaction perspective. Pakdil and Aydın used fuzzy logic theory and SERVQUAL method to measure how optimistic, pessimistic or normal customers would evaluate the airline service quality [12].

In this study, the fuzzy set theory is used to evaluate the customer satisfaction levels across several service dimensions in Uber and normal taxi. Since customer satisfaction is an area where the same words (e.g. service quality perception as “good”) could translate into different satisfaction levels for different customers, fuzzy logic would be an appropriate fit to evaluate this performance measure. For this purpose, a survey is conducted on Uber and normal taxi customers asking them to evaluate several service quality dimensions of both types of firms. The detailed information about the questionnaire and data analysis is presented in Section 2. The results of the analysis are elaborated in Section 3. This study is a pioneer in the topic of the sharing economy and the results will be illuminating for the researchers and the entrepreneurs who will be active in the same area.

## 2. Material and Method

The methodology to be used in this study is fuzzy logic theory. By using this method, the survey data is analyzed and the results are interpreted from a managerial perspective.

### 2.1. Fuzzy set theory

The fuzzy set theory is based upon fuzzy numbers. It was first defined by Zadeh [3]. According to this theory, people tend to think about the facts in decision making using “linguistic variables” rather than certain numbers as 0 and 1. For instance, they define their views about the quality of a service by using expressions as “very bad, bad, average, good, very good”. However, if they are asked to evaluate the same service by using a grade between 0 and 100, two people using the same linguistic variable (e.g. “average”) could be observed to make quite distinct numerical evaluations (for instance one participant giving a grade of 40 while the other giving 70).

Fuzzy set theory aims to convert the linguistic variables to quantitative values by taking into account the uncertainty in the decision making process of people. Working by the principle of some

kind of a confidence interval, the fuzzy numbers can be defined by taking into account the variations in the human expressions. For instance, a triangular fuzzy number that corresponds to the linguistic variable “average” can be defined as  $Y = (c, a, b) = (2, 3, 4)$ , indicating that the decision makers grade a service they refer to as “average” by a numerical value of minimum 2, on average 3, and maximum 4. Moreover, several arithmetic operations can be defined on fuzzy numbers depending on the form of the number. For instance,

The addition operation on triangular fuzzy numbers:

$$(L_1, M_1, U_1) \oplus (L_2, M_2, U_2) = (L_1 + L_2, M_1 + M_2, U_1 + U_2) \quad (1)$$

The multiplication operation on triangular fuzzy numbers:

$$(L_1, M_1, U_1) \odot (L_2, M_2, U_2) = (L_1 L_2, M_1 M_2, U_1 U_2) \quad (2)$$

The subtraction operation on triangular fuzzy numbers:

$$(L_1, M_1, U_1) \ominus (L_2, M_2, U_2) = (L_1 - L_2, M_1 - M_2, U_1 - U_2) \quad (3)$$

are defined as in the above formulations.

By these operations it is possible to evaluate the minimum, average and maximum values of each triangular fuzzy number that would define the customer satisfaction level of a service dimension. For instance, suppose that the survey was conducted to measure the service quality of  $i$  service dimensions by the participation of  $m$  people. Let  $E_{ij} = (L_{ij}, M_{ij}, U_{ij})$  be the triangular fuzzy number which defines the value of participant  $j$  on the service dimension  $i$ . The overall value of service dimension  $i$  will be represented by the fuzzy number  $E_i = (L_i, M_i, U_i)$ , which can be computed according to the following formulas developed by Buckley [13]:

$$L_i = \left( \sum_{j=1}^m L_{ij} \right) / m \quad (4)$$

$$M_i = \left( \sum_{j=1}^m M_{ij} \right) / m \quad (5)$$

$$U_i = \left( \sum_{j=1}^m U_{ij} \right) / m \quad (6)$$

Finally, by using a procedure called “defuzzification”, the fuzzy numbers can be converted to crisp real

numbers. The technique that is used for defuzzification in this paper is “the center of area” method, which uses the following formula:

$$BE_i = \frac{[(U_i - L_i) + (M_i - L_i)]}{3} + L_i, \quad \forall i \quad (7)$$

According to the fuzzy numbers theory, there are several types of fuzzy numbers (e.g. triangular, trapezoidal... etc.) that can be defined. Similarly, various procedures for defuzzification exist such as the center of area, the mean of maximum,  $\alpha$ -cut method, etc. For the sake of brevity, different methods will not be discussed here. Similar studies in the past literature have used triangular fuzzy numbers and the center of area method for defuzzification [10, 11, 12]; therefore, the same methods are used in this paper.

## 2.2. The questionnaire design

The aim of this study is to measure and compare the customer satisfaction levels in various service dimensions of Uber and normal taxi. In this vein, the service dimensions that are evaluated are displayed in Table 1.

**Table 1.** The dimensions of the service quality

Price
Accessibility
Time to arrive at the door
Using the shortest route
Courtesy
Easiness of the payment method
Appropriateness of the pick-up and drop-off locations
Safety

The price dimension refers to the amount of payment for the ride across the same distance. Accessibility is explained as finding a vehicle as soon as desired, while time to arrive at the door is the waiting time until the found vehicle reaches the customer. Using the shortest route is elaborated as “customer’s trust in driver finding the shortest route to destination”. Courtesy refers to the politeness of the driver and using appropriate language/manners. Easiness of the payment method is how customers perceive the efficiency of the payment method they use in reciprocating the service of the driver, while appropriateness of the pick-up and drop-off location is again the customer perception regarding whether they find the location at which the driver takes them in or drops off as suitable, safe, close to their destination point, etc. Finally, safety refers to how safe the customer feels using the services of each company involving the traffic safety (e.g. careful versus careless driving) and personal safety (e.g. whether they feel intimidated by the driver’s approach or not).

For the purposes of the study, 140 participants who used Uber and normal taxi in the past have been reached and they were asked to answer questions to

evaluate the service dimensions displayed in Table 1. The demographics of the survey participants are summarized in Table 2.

**Table 2.** The demographics of survey participants

variable		%
gender	Woman	32
	Man	68
age	18-25	26
	26-35	50
	36-45	18
	45+	7
Marital status	Single	49
	Married, no kid	19
	Married, with kids	32
Education	Less than high school degree	3
	High school degree	25
	College degree	53
	Graduate degree	20
Taxi/Uber usage frequency	Daily	58
	Weekly	34
	Monthly	7
	Less than once in a month	1
How many of the last 10 taxi rides are with Uber	0-2	20
	3-5	18
	6-8	34
	9-10	28

A 5-point Likert scale was used in the survey questions. According to this scale, the participants indicated their satisfaction level across each one of the service dimensions by one of the options “very bad”, “bad”, “average”, “good” and “very good”. The fuzzy number correspondence of each linguistic variable is displayed in Table 3, which is adapted from Chou et al., who is using a similar 5-point Likert scale [11].

**Table 3.** Fuzzy correspondences of linguistic variables [3].

Very bad	(0.0, 1.0, 2.0)
Bad	(1.0, 2.0, 3.0)
Average	(2.0, 3.0, 4.0)
Good	(3.0, 4.0, 5.0)
Very Good	(4.5, 5.0, 5.0)

### 3. Results

The answers of the survey participants are evaluated and each service dimension of Uber and normal taxi are measured in terms of triangular fuzzy numbers. The results are presented in Table 4.

The first two columns of Table 4 show the overall evaluation of the survey participants for each service dimension of Uber and normal taxi respectively. These numbers are computed using the formulas (4), (5) and (6). The defuzzified numbers are presented in the next two columns. These numbers are found by the formula in (7). Finally, the last column is the gap between the defuzzified numbers of Uber and normal taxi across each service dimension and show the quality difference from the customers’ perspective.

According to the results tabulated in Table 4, Uber’s services are considered as superior to normal taxi services across all service dimensions. However, courtesy, easiness of payment and using the shortest route turn out to be the first three service dimensions Uber makes the most difference with respect to the normal taxi. Uber receives its own lowest score in the price dimension (3.95); however, since normal taxi also receives a relatively low score in this dimension (2.11), the fourth highest gap between the service quality of both types of firms is the price. The service dimension for which the quality gap is lowest is the time to arrive at the door (1.47).

Looking at the rankings within Uber’s own scores, it is found that the highest scores are attained in the easiness of the payment method (4.43) and courtesy (4.40). The fact that Uber allows various payment methods (cash, credit card, Paypal in some countries...) with the help of the Uber app in digital platforms, and the fact that the payment process is shortened by predefining credit card information within the app are the reasons for Uber’s high score in this service dimension. Again, as Uber drivers can be rated over the platform, they have to attain a much more courteous and professional attitude towards the Uber customers, which brings the second highest score of Uber in the courtesy dimension. The ensuing service dimensions Uber received the higher scores are safety (4.23), accessibility (4.11) and using the shortest route (4.05), respectively. Finally, the rest of the service dimensions are ranked as the appropriateness of pick-up/drop off points (4.05), time to arrive at the door (4.00) and price (3.95).

When the quality of the service dimensions of the classical taxi firms is considered, it is observed that

**Table 4.** The analysis of the survey results according to the fuzzy set theory

	Uber	Normal taxi	Uber (defuzzified)	Normal taxi (defuzzified)	Gap
Price	(3.18, 4.01, 4.66)	(1.15, 2.12, 3.07)	3.95	2.11	1.84
Accessibility	(3.46, 4.20, 4.69)	(1.38, 2.36, 3.32)	4.11	2.35	1.76
Time to arrive at the door	(3.28, 4.07, 4.66)	(1.56, 2.54, 3.48)	4.00	2.53	1.47
Using the shortest route	(3.37, 4.13, 4.65)	(0.92, 1.90, 2.86)	4.05	1.89	2.16
Courtesy	(3.85, 4.51, 4.84)	(0.84, 1.83, 2.80)	4.40	1.82	2.58
Easiness of the payment method	(3.89, 4.54, 4.86)	(0.95, 1.94, 2.90)	4.43	1.93	2.50
Appropriateness of pick-up/drop-off points	(3.31, 4.09, 4.66)	(1.33, 2.31, 3.27)	4.02	2.30	1.72
Safety	(3.61, 4.33, 4.76)	(1.55, 2.54, 3.51)	4.23	2.53	1.70

the highest score is attained at the safety (2.53) and the time to arrive at the door (2.53) dimensions. The primary reason for this occurrence is the fact that the customers often use a certain taxi stop to call their taxis, and regard that taxi stop as a department where they can file their complaints at. The next service dimensions ranked according to their scores are accessibility (2.35) and the appropriateness of the pick-up/drop-off points (2.30), which strengthens the former claim that working with a taxi stop could enhance the quality perception in the eyes of a customer. The lowest scored service dimensions are using the shortest route (1.89) and courtesy (1.82), again confirming the fact that unlike Uber, taxi drivers have no penalty mechanism in terms of their attitudes towards the customer, leading to lower customer satisfaction levels.

#### 4. Discussion and Conclusion

In this study, the customer satisfaction levels of a firm that operates according to the sharing economy principles, Uber, and the classical taxi companies are compared. The results of the analysis are interesting and insightful in many aspects. According to the analysis results tabulated in Table 4, Uber achieves higher customer satisfaction levels in all service dimensions with respect to normal taxi firms. If classical taxi companies would like to compete with Uber and alike in the future, they must prioritize improving service dimensions such as courtesy, easiness of the payment method and finding the best transportation route. All of these dimensions require providing training to taxi drivers for interacting more professionally with the customer and having competence regarding the traffic condition and the geography of the city. Moreover, introducing a public rating system which would allow normal taxi customers to rate and comment on the drivers could help improve the attitude of the taxi chauffeurs. Furthermore, making taxis accept credit card as a payment method mandatory would help improve the customer satisfaction levels.

On the other hand, if the results should be evaluated from the perspective of Uber and similar companies, it must be noted that despite their higher customer satisfaction levels compared to classical taxi firms, these firms need to improve their services in some aspects as well. For instance, they can improve the customer happiness in the price dimension. Uber is known to practice various pricing models in different locations [14]. For instance, when the demand surpasses supply, the “surge pricing” strategy, which aims to balance supply and demand, is utilized. Similarly, offering several transport vehicles that differ in the comfort and luxury helps Uber to do price discrimination. Implementation of these practices by taking into account the social and geographical conditions of each city would improve the customer satisfaction levels. Again, for instance,

determining a standard for pick-up/drop-off points and improving the time to arrive at the door are the issues that need to be focused on by Uber. Due to the “network effect”, which can be defined as the phenomenon that as the number of users of a certain product/service increases, the service quality improves as well, the service quality of Uber in terms of these issues will clearly be enhanced as more people start using Uber [15]. Hence, Uber must pay attention to improving driver happiness, too; so that an increased number of drivers would want to join Uber which in turn brings a higher number of customers who are happier.

Although our study focuses on the comparison of Uber and normal taxi services, it also embodies several insights regarding the competition of classical firms and the firms who are built upon a sharing economy-based new business model. The firms with the new business models often decrease the market share of the older firms. Our study presents the clues that the reason for this occurrence must be searched in the customer satisfaction levels. Hence, if the classical firms want to compete with the new platforms in a stronger fashion, it is evident that they should improve their service levels in the aspects they are lacking the most.

One limitation of our study could be the objectivity of the sample population. Although 140 people is a good number for drawing objective results, the only requirement for questionnaire participation is “having used Uber at least once”. Therefore, the points that were awarded to Uber might be reflecting the average of very few experiences (which are rather good) on some participants’ side. The high gap between the scores of taxi firms and Uber could be due to prolonged bad experiences of the participants in using regular taxi services. Therefore, in order to confirm the objectivity of the results, it would be appropriate to conduct a similar study in a few years’ time when the users have obtained a good amount of travel experience with Uber, too.

Our study can be extended by adding more detailed versions of the service dimensions, by introducing different weights to each service dimension taking into account the customer perspective, by introducing the driver opinions besides the customer opinions, etc. However, despite the limitations, our study is a first to analyze the issues in the sharing economy, which is bound to gain more importance in the future, by using fuzzy logic. We hope to spur more attention to the topic in the future.

#### References

- [1] Frenken, K., Meelen, T., Arets, M., Van der Glind, P. 2015. Smarter Regularion for the Sharing Economy. <http://www.theguradian.com/science/political->

- science/2015/may/20/smaeter-regulation-for-the-sharing-economy. (Access Date: 07.06.2018).
- [2] Blystone, D. 2018. The Story of Uber. <https://www.investopedia.com/articles/personal-finance/111015/story-uber.asp>. (Access Date: 07.06.2018)
- [3] Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 338-353.
- [4] Bellman, R. E., Zadeh, L. A. 1970. Decision-Making in a Fuzzy Environment. Management Science, 17(4), 141-164.
- [5] Buyukozkan, G., Feyzioglu, O., Nebol, E., 2008. Selection of the strategic alliance + partner in logistics value chain. International Journal of Production Economics, 113, 148-158.
- [6] Thomassey, S., Happiette, M., Castelain, J.M., 2005. A short and mean-term automatic forecasting system—application textile logistics. European Journal of Operational Research, 161, 275-284.
- [7] Hwang, H.-S., Yu, J.-C., 1998. R&D project evaluation model based on fuzzy set priority. Computers and Industrial Engineering, 35, 567-570.
- [8] Bottani, E., Rizzi, A., 2006. Strategic management of logistics service: a fuzzy QFD approach. International Journal of Production Economics 103, 585-599.
- [9] Celik, E., Bilisik, O. N., Erdogan, M., Gumus, A. T., Baraclı, H. 2013. An Integrated Novel Interval Type-2 Fuzzy MCDM Method to Improve Customer Satisfaction in Public Transportation for Istanbul. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 58, 28-51.
- [10] Tsaour, S. H., Chang, T. Y., Yen, C. H. 2002. The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM. Tourism management, 23(2), 107-115.
- [11] Chou, C. C., Liu, L. J., Huang, S. F., Yih, J. M., Han, T. C. 2011. An Evaluation of Airline Service Quality Using the Fuzzy Weighted SERVQUAL Method. Applied Soft Computing, 11(2), 2117-2128.
- [12] Aydin, O., Pakdil, F. 2008. Fuzzy SERVQUAL Analysis in Airline Services. Organizacija, 41(3), 108-115.
- [13] Buckley, J. J. 1985. Ranking Alternatives Using Fuzzy Numbers. Fuzzy Sets and Systems, 15(1), 21-31.
- [14] Dholakia, U. 2015. Everyone Hates Uber's Surge Pricing - Here's How to Fix It. Harvard Business Review. <https://hbr.org/2015/12/everyone-hates-ubers-surge-pricing-heres-how-to-fix-it>. (Access Date: 07.06.2018)
- [15] Investopedia, n.d. Network Effect. <https://www.investopedia.com/terms/n/network-effect.asp>. (Access Date: 07.06.2018)



## AHP Metoduyla Yer'e Özgü Mimari Tasarım Kriterlerinin Öncelik Sırasının Belirlenmesi

Emine YILDIZ KUYRUKÇU\*<sup>1</sup>, Ahmet ALKAN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 42030, Konya, Türkiye

<sup>1</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5794-3507>)

<sup>2</sup>(ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9244-819X>)

(Alınış / Received: 24.02.2019, Kabul / Accepted: 18.03.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 19.03.2019)

**Anahtar Kelimeler**  
Mimari tasarım,  
Yere özgü tasarım,  
Eleştirel rejyonalizm,  
Kenneth Frampton,  
AHP

**Özet:** 20. yüzyılda küreselleşme ile mimari tasarımın yerle olan ilişkisi kopmuş, her türlü bölgesel sınır ortadan kalkmıştır. Bu bağlamda mimarlık, bölgesel bir olgu olmaktan çıkmış, artık sınırları olmayan evrensel bir olgu haline gelmiştir. Çalışma, 'mimari tasarım-yer' ilişkisini doğru kurmanın yani yerin ruhunun somutlaştırılmasının yolu olarak *Eleştirel Bölgeselcilik*'in çözüm olabileceğini savunmaktadır. '*Eleştirel Bölgeselcilik (Critical Regionalism)*' yaklaşımında 'yer'e ait değerlerle, çağdaş yer yönelimli tasarım yapmak amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında Eleştirel Bölgeselcilik kavramını geliştiren Kenneth Frampton'ın 1987'lerde söylemleştirdiği 10 maddesi yorumlanarak dokuz kriter belirlenmiş ancak bu kriterlerin günümüz koşullarında yetersiz olduğu düşünülerek tarafımızdan dört kriter eklenerek "*bir yapıyı eleştirel rejyonalist-o yer'e (bölgeye) ait*" olarak nitelendirebilmenin on üç evrensel kriteri, dört grup halinde ortaya konulmuştur. Çalışmanın asıl amacı bir yapının eleştirel rejyonalist-o yer'e (bölgeye) ait olarak adlandırılabilmesi için hangi kriterlerin etken olduğu ve bu kriterlerin öncelik sıralamasını tespit etmektir. Bu doğrultuda doktor unvanına sahip Selçuk Üniversitesi, Gazi Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nden Restorasyon Anabilim Dalı, Mimarlık Tarihi Anabilim Dalı, Bina Bilgisi Anabilim Dalında görevli toplam 34 uzmandan, bir tasarımın o yere ait olarak algılanmasında belirlenen kriterlerin ne kadar etken olduklarını puanlamaları istenmiştir. Sonuçlar AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) metoduyla analiz edilmiş ve çalışma kapsamında ortaya konulan kriterlerin geçerliliği ve tüm bu kriterlerin öncelik sırası belirlenerek "*bir yapıyı eleştirel rejyonalist-o yer'e (bölgeye)*" ait olarak nitelendirmede öncelikli kriterler tespit edilmiştir.

## Determination of the Priority Order of Place-Specific Architectural Design Criteria by AHP Method

**Keywords**  
Architectural design,  
Place-specific design  
Critical regionalism,  
Kenneth Frampton,  
AHP

**Abstract:** In the 20th century, the relationship between globalization and architectural design had been broken down and all regional borders was eliminated. In this context, architecture has ceased to be a regional phenomenon and has become a universal phenomenon with no boundaries anymore. The study advocates that critical regionalism can be a solution as a way of embodied the spirit of the place, establishing the 'architectural design-place' relationship correctly. In the '*Critical Regionalism*' approach, it is aimed to design contemporary place-oriented with the values of 'place'. In the scope of study, the ten points voiced by Kenneth Frampton in 1987 is interpreted and nine criteria are designated, however after conceiving these criteria are inadequate in present conditions, four more criteria are added and the thirteen universal criteria of being able to qualify "*a structure as critical regional - a belonging to that place (region)*" have been demonstrated in four groups. The main aim of this study is to determine, which criteria are eligible to name a structure as critical regional (a belonging to that place) and the priority ranking of these criteria. Within this context, 34 Dr. titled experts who are from Restoration Department, Architecture History Department and Building Knowledge Department of Selçuk University, Gazi University and Middle East Technical University were asked to score how much the determined criteria are influential in perceiving a design's belonging to that place. Results were analyzed with AHP (Analytical Hierarchy Process) method and the priority criteria have been identified in determining "*a structure as a belonging to that place (region) - as critical regional*", after designating the validity of the principles set forth in the scope of the study and the priority of all these criteria.

## 1. Giriş

Mimari eser 'yer' le başlar. Mimarlıkta yer kavramı, çoğu zaman, mimari tasarımı biçimlendiren ya da biçimlendirmesi gereken temel etmenlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Mimari, yer ile birlikte vardır. Yer mimariyi kurmakta, mimari de yeri dönüştürmektedir. 'Yer' kavramı mimaride belirleyici rol oynayan ve yapıyı 'anamlı' kılan bir özelliktir. Mimari tasarım, yeri ile uyumlu olduğu sürece başarılı sayılmaktadır. Yalıtılmış bir kavram olarak yer/mekân (içinde insani yaşam barındıran oluşum), tek başına anlamsızdır. Yer'in mimariyle bütünleşmesi, tümel bir gerçeklik olarak ele alındığında, çevresindeki olgularla anlamlı biçimde ilişkiyi sağlayan bileşenlerin sürece dâhil olmasıdır. Bu bileşenler tüm doğal, yapay, sosyal, psikolojik, politik, ekonomik, tarihsel, kültürel verileri içermektedir. Mimari dil, yerin zaman içinde kendini ifade etme biçimi ise bu ifade biçimi, "yer"le kurulan yaşamsal ilişkinin, her defasında bir önceki oluşumla yeniden anlam kazanması, onunla ilişki kurmasıdır. Norberg-Schulz [1] mimari tasarım-yer ilişkisini şöyle özetler: *"Mimarlık, bütüncül bir çevrenin görünür kılınmasıdır... Genel anlamda bu, yerin ruhunun somutlaştırılması demektir... Mimarlığın görevi anlamlı yerler yaratmaktır. Böylece insanın mesken tutmasını sağlamaktır."* Mimarlık Abel [2]'in belirttiği gibi, eğer bir çeşit varoluş biçimiye, bu noktada "yer" insanın varlığı ekseninde ontolojik bir boyut kazanmaktadır. Mimarlık disiplini insanın yer ile kurduğu ilişkiyi yansıtan bir aracı konumundadır.

Tüm süreçte insanın 'yer'e ilişkin algısının değişimi mimarlık anlayışının da değişimine yol açmıştır. İnsanların mekânlarını kurgulama biçimleri değişen sosyo-ekonomik ve toplumsal koşullar ile birlikte değişim geçirmiştir. 20. yüzyılda küreselleşme eğilimi ile Modernizm'in getirdiği olanaklar, gelişen teknoloji ve dolayısıyla üretim biçimleri ile birlikte, 'yer'i esas almayan evrensel, standart, yerel verileri dışlayan rasyonalist mimari biçimler tasarlanmıştır. Modern dönemde zaman ve mekân kavramının yer bağlamından kopması, evrensel bir üslupla yerlerin artık her yer olması 'yersizleşmenin başlangıcı' olarak kabul edilir. Küreselleşme sonucu bölgesel sınırlar ortadan kalkmış, çevresel, doğal, kültürel, ulusal değerler yok olmaya başlamıştır. Dönemin bakış açısını Corbusier [3] şöyle özetler *"...Tüm insanlar aynı organizmaya, aynı fonksiyon yapısına sahiptirler. Tüm insanlar aynı ihtiyaçlara sahiptirler..."* Kendini tarihten soyutlayan modern mimarlığın rasyonalist ilkeleri, mimarlığın bütün coğrafyalar üzerinde benzer çözümler ve biçimler ile aynılaşarak 'yer'le ilişkisinin kopması, zamanla eleştirilmeye başlanmış ve modern karşıtı eleştiriler ortaya çıkmıştır. Modern mimarlığın evrensel tavrına karşı çıkan postmodernizm döneminde ise yerel olma kaygısıyla, görsel imgeler üzerinde yoğunlaşan 'yer'i bir temsil nesnesine indirgeyen 'yer' den kopuk mimari biçimler tasarlanmıştır [4]. Öyle ki modernler

tarafından geleneksel mimarlığın kural ve sınırlamalarından kurtulmak için reddedilen tarihsel formlar, postmodernlerce modernist dogmadan kurtulmak ve kendi çoğulcu, özgür mimarlıklarını oluşturmak için kullanılmıştır [5]. Venturi'nin Mies'in 'less is more' deyişine gönderme yaptığı, *"... Ben, nesnelere "yalın" olanından çok kırma olanını, "başına buyruk" olanından çok uzlaşanını, "dosdoğru" olanını değil, çarpıtılmışını, "açıkça dile getirilenini" değil, anlamı belirsiz olanını, sapkın olduğu kadar kişilik dışı olanını, "ilginç" olduğu kadar can sıkıcı olanını severim"* şeklindeki çıkışı mimarların yeni döneme bakışını da çok net ortaya koyuyordu [6]. Venturi, Mies van der Rohe'nin "az çoktur" sözünü eleştirerek tam karşıtı bir başkaldırıyla *"az, sıkıcıdır"* demiştir. Harvey [7], bu durumu mekânsal engellerin çöküşü olarak nitelendirmiştir. Modernizme tepki olarak doğan postmodernizm de yer'le ilişkisini başarılı kuramamış yerel ve bölgesel mimari elemanlar bir dekor olarak kullanmış, 'yer' yersizleşmiştir. Hâlbuki gerçek yerellik yer'in fiziksel koşullarını ve kültürel geçmişini göz önüne alarak tasarım yapmaktır. İşte bu noktada *'yersizleşmeye çözüm olarak'* 1980'lerin söylemleştirdiği kavramsal çerçevesi ile tektipleşmelere karşı direnç noktaları ortaya koyan *'Eleştirel Bölgeselcilik (Critical Regionalism)'* anlayışı karşımıza çıkmaktadır. Eleştirel bölgeselci yaklaşım, topoğrafya, iklim, ışık gibi bölgesel nitelikleri, kültüre ilişkin verileri, mimarlığın tektonik ifadesi ile birleştirmiş, sahnesel olmayan, insanın algılayabildiği ve hissedebildiği, bulunduğu yere ait bir mimarlık önerisinde bulunur.

1940'lı yıllarda gelişmeye başlayan bölgeselcilik anlayışında, eleştirel bir bakış açısının şekillenmesine ön ayak olan kişi, Levis Mumford'dur. Levis Mumford, Skyline makalesinde, 1930'ların Uluslararası Stiline karşı modernizmin yerli ve insancıl biçimi olarak nitelediği "bölgesel stili" önermekte ve makine estetiğine yüklenmektedir [8]. Mumford'a göre evrensel-bölgesel ve mekanik-insana ait olan dengede tutulup sindirildikten sonra insanın istekleri, doğa, iklim, bitki örtüsü ve topoğrafya ile birliktelik sağlanmalıdır [9]. Eleştirel Bölgeselcilik kavramını ilk kez Lefavre ve Tzonis 1981 deki "The Grid and The Pathway" adlı makalede ortaya koymuştur [10]. Lefavre ve Tzonis, 'Eleştirel Bölgeselcilik' çerçevesinde değerlendirilebilecek bir binanın iki açıdan eleştirel olduğunu belirtir. Bunlardan birincisi, tasarımların ait olduğu bölgeselci geleneğin meşru olup olmadığı konusunda soru soruyor olmaları, ikincisi ise daha detaylı ele alınacak olan yabancılaştırma / yadırgatma'dır.

'Yabancılaştırma/yadırgatma' bölgeye ait olanı, yorumlayarak yeniden kullanmak olarak tanımlanırken, 'Eleştirel' olmanın koşullarından birini oluşturur [11]. Bu gelişmelerden sonra 'Eleştirel Rejyonelizm' kuramını en güçlü olanı teorisyen mimar Kenneth Frampton tarafından ortaya konulmuş; 1983 yılında altı, 1987 yılında on adet

olmak üzere manifesto niteliğinde maddeler ortaya koymuş 'Eleştirel Rejyonelizm'in yaygınlaşmasını sağlamıştır. Frampton [12] makalelerinde mimarinin sadece moda ya da sahneleme gibi algılanıp tasarlanmasıyla ilgili endişelerini dile getirmiştir. Yerel kimlik ve ifadenin reddine karşı, yeri ve tekniği anlayan gerçek mimari önermiştir. Yerin kültürü, topoğrafyası, bağlamı, iklimi, ışığı ve tektonik formu binayı belirler [13]. Frampton [14]'a göre; bina serbest duran bir nesne olmayıp özellikle o yere uygun halde yapılmalıdır. Eleştirel bölgeselci yaklaşım, topoğrafya, iklim, ışık gibi bölgesel nitelikleri, kültüre ilişkin verileri, mimarlığın tektonik ifadesi ile birleştirmiş, sahnesel olmayan, insanın algılayabildiği ve hissedebildiği, bulunduğu yere ait bir mimarlık önerisinde bulunur.

Gelecek dönem mimarisinde "yer" ve "yerin ruhu" kavramlarının mimari tasarımdaki önemi daha çok hissedilecek dolayısıyla tasarlanacak mimari ürünlerde bu anlayışa uygun olacaktır varsayımından yola çıkarak çalışma, yerin ruhunu yaşatabilecek kriterlerin geliştirilmesine ihtiyaç olduğunu tespit etmiştir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda "bir yapıyı eleştirel rejyonelist-o yer'e (bölgeye) ait olarak adlandırmak için, en çok hangi kriterler etkindir? Bu kriterlerin öncelik sıralaması nedir?" sorularına cevap veren bir çalışma olmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışma; bu boşluğu doldurmak ve gelecek çalışmalara bir altlık olabilmek için bir adım olarak görülmüştür. Çalışmanın hedefi; "bir mimari ürünü eleştirel rejyonelist-o yer'e (bölgeye) ait olarak adlandırmak için gerekli evrensel tasarım kriterlerini belirlemek ve bu kriterlerin öncelik sıralamasını tespit etmektir". Bu amaçla yapılan literatür taramasına bağlı olarak yapılan değerlendirmeler sonucunda rejyonelizm konusunda en kapsamlı 'Eleştirel Bölgeselcilik' kuramının Kenneth Frampton'a ait olduğu görülmüş, 1987 yılında 'Bölgeselci Mimarlık için On Nokta: Geçici Bir Polemik' başlığı altında ortaya koyduğu maddeler yorumlanmış, bu yorumlardan anahtar kelimeler belirlenmiş ancak bu kriterlerin günümüzde yetersiz olduğu düşünülerek tarafımızdan yeni kriterler eklenerek bir yapıyı "eleştirel rejyonelist-o yer'e (bölgeye) ait" olarak adlandırmanın kriterleri, dört grup halinde ortaya konulmuştur. Ayrıca çalışma ortaya konulan tasarım kriterlerinin kavramsal düzeyde test edilmesine yönelik, uzmanlarla bir analiz çalışması yaparak, kriterlerin geçerliliklerini ve öncelik sırası tespit edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırmanın amacına uygun veriler toplanırken literatür taraması, gözlem, görüşme ve anket veri toplama tekniklerinden yararlanılmıştır. Öncelikle kriterleri belirlemek için konu ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Yapılan literatür araştırması

sonucu rejyonelizm konusunda en güncel ve kapsamlı olması nedeniyle Kenneth Frampton'ın 1987 yılında ortaya koyduğu on madde benimsenmiş, bu on madde analiz edilip anahtar kelimeler belirlenerek, bir yapıyı o yer'e ait olarak adlandırmanın "dokuz kriteri" ortaya konulmuştur ancak bu kriterlerin günümüz koşullarında yetersiz kaldığı düşüncesiyle "dört kriter" daha eklenerek toplam "on üç kriter", "bir mimari ürünü eleştirel rejyonelist-o yer'e (bölgeye) ait" olarak nitelendirmek için ortaya konulmuştur. Ayrıca kriterlerin geçerliliklerini ve öncelik sırasını tespit etmek amaçlı uzmanlarla anket çalışması yapılmış, elde edilen anket sonuçları, karar analiz tekniklerinden AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemi ile değerlendirilmiştir.

### 2.1. Yer'e özgü mimari tasarım kriterlerinin belirlenmesi

Yapılan geniş kapsamlı literatür araştırmaları sonucunda eleştirel bölgesel konusunda en kapsamlı manifesto niteliğinde maddeler ortaya koyan araştırmacının Kenneth Frampton olduğu tespit edilmiştir. Frampton, bu maddelerin ilkinin 1983 yılında 'Mimari Direniş için Altı Nokta' (Towards a Critical Regionalism: Six Points For an Architecture of Resistance) başlığı altında toplamıştır. Frampton 1987 yılında, 1983 yılında ortaya koyduğu bu altı maddeden yola çıkarak 'Bölgeselci Mimarlık için On Nokta: Geçici Bir Polemik' başlığı altında maddelerini geliştirmiştir. Frampton'un 1983 yılında ortaya koyduğu altı nokta ve 1987 yılında ortaya koyduğu on noktada bir takım kavramlar tekrar ederken, diğer kavramlar eklenmiş veya eksiltilmiştir. Literatür taramasına bağlı olarak yapılan değerlendirmeler sonucunda geçmişten günümüze Eleştirel Bölgeselcilik ile ilgili en önemli kuramı 1987 yılında 'Bölgeselci Mimarlık için On Nokta: Geçici Bir Polemik' başlığı altında Kenneth Frampton'ın ortaya koyduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Kriterler belirlenirken öncelikle bu on madde okunmuş ve yorumlanarak anahtar kelimeler (kriterler) belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Ten points on an Architecture of Regionalism: A Provisional Polemic

1.Critical Regionalism And Vernacular Form
2.The Modern Movement
3.The Myth and the Reality of the Region
4. Information and Experience
5.Space/Place
6.Typology/Topography
7.Architectonic/Scenographic
8.Artificial/Natural
9.Visual/Tactile
10.Post-Modernism and Regionalism: A Summation

Çalışma kapsamında Frampton'ın bu on maddesi yorumlanarak analiz edildiğinde bir yapıyı eleştirel bölgesel olarak adlandırmada yer'e ait olmanın

göstergesi olarak “topografyaya uyum”, “doğaya saygı”, “doğal aydınlatmanın kullanımı”, “iklim verilerinin dikkate alma”, “yapının rengi ve dokusuyla birlikte çevre dokusuyla uyumlu olması”, “yerel malzemenin kullanımı”, “dokunsal olma” “yerel yapım tekniğinin kullanımı”, “yerel mimari elemanların kullanımı” kavramlarına işaret ettiği görülmüştür. Ancak yerel elemanların basit duygusallıkla bağlanılan vernaküler şeklinde değil yorumlanarak kullanılması gerektiğine vurgu yapmaktadır. Yukarıda belirlenen anahtar kelimeler çalışma kapsamında bir mimari ürünü ‘eleştirel rejyonalist-o yer’e (bölgeye) ait’ olarak adlandırmanın dokuz kriteri olarak belirlenmiştir. Ancak bu kriterlerin bir yapıyı *eleştirel bölgesel* olarak tek başına adlandırma da yetersiz olduğu düşünülmüştür. Bölgesel yapılar incelendiğinde, “fonksiyonunu dışa yansıttıkları”, “sade biçim diline sahip oldukları”, “insan ölçeğine yakın oldukları” ve “çevre yapılarla ölçekli oldukları” tespit edilip, daha önce belirlenen dokuz kritere, tarafımızdan dört kriter daha eklenip toplam on üç adet evrensel kriter, bir mimari ürünü “*eleştirel rejyonalist*” olarak adlandırmanın güncel kriterleri olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Bir mimari ürünü ‘eleştirel rejyonalist-o yer’e (bölgeye) ait’ olarak adlandırmanın tasarım kriterleri

<b>A-ÇEVRE-DOĞA İLİŞKİSİ</b>
A.1. Arazinin topoğrafik yapısına uyum
A.2. Doğaya saygılı yaklaşım
A.3. Doğal aydınlatma/gün ışığının dikkate alınması
A.4. İklim verilerinin dikkate alınması
A.5. Yapının rengi ve dokusuyla birlikte çevre dokusuyla uyumlu olması
<b>B-BİÇİM</b>
B.1. Yerel mimari elemanların yorumlanarak kullanımı
B.2. Yerel yapım tekniklerinin yorumlanarak kullanımı
B.3. Yapının sade biçim dilinin olması
B.4. Yapının fonksiyonunu dışa yansıtması
<b>C-MALZEME</b>
C.1. Yerel malzemenin yorumlanarak kullanımı
C.2. Dokunsal olma
<b>D-ÖLÇEK</b>
D.1. Yapının insan ölçeğine yakınlığı
D.2. Yapının çevredeki yapıların ölçeğine uyumu

## 2.2. Anket tekniği ile uzmanlardan veri toplanması

Çalışma kapsamında ortaya konulan kriterlerin kavramsal düzeyde geçerliliğini ve öncelik sırasını belirlemek için uzmanlarla bir anket çalışması yapılmıştır. “Bir yapıyı *eleştirel rejyonalist-o yer’e (bölgeye) ait*” olarak nitelendirmek için belirlenen 13 kriterin içerisinde yer aldığı bir anket formu hazırlanmış ve uzmanlardan bu kriterleri önem sırasına göre puanlamaları istenmiştir. Çalışmanın örneklemini seçilirken, çalışmanın iç dinamikleri etkili olmuş, kriterler arasında doğru sıralamayı ancak

“rejyonalizm” konusunda uzmanlar yapabileceği için doktor unvanına sahip anket konusunda uzman, Gazi Üniversitesi, ODTÜ ve Selçuk Üniversitesi bina bilgisi, restorasyon ve mimarlık tarihi kürsüsünde yer alan mimari tasarım stüdyosu dersi yürüten 34 uzman mimar seçilmiştir. Örneklem için gerekli örneklem büyüklüğü hesaplandığında (Tablo 3);

Yığın ortalaması için  $\bar{x}$  ve s sırasıyla örnek ortalaması ve örnek standart sapması olmak üzere  $1-\alpha$  anlamlılık ve d duyarlılık düzeyinde güven aralığı Denklem 1’deki gibi ifade edilir.

$$P\left(\bar{x}-t_{n-1,\alpha/2}\frac{s}{\sqrt{n}}<\mu<\bar{x}+t_{n-1,\alpha/2}\frac{s}{\sqrt{n}}\right)=P\left(\bar{x}\pm t_{n-1,\alpha/2}\frac{s}{\sqrt{n}}\right)=P(\bar{x}\pm d)=1-\alpha \quad (1)$$

10 akademisyen ile pilot çalışma uygulaması yapılmış aşağıdaki bulgular ve talepler doğrultusunda örnek hacmi hesaplanmıştır. 13 soruya (kriterlere) verilen cevaplar değerlendirilmiş ve bunlar arasında en yüksek standart sapma örnek hacminin belirlenmesinde kullanılmıştır (Tablo 4).

$$d = t_{n-1,1-\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$1 = t_{10-1,1-0,05/2} \frac{2,58}{\sqrt{n}} = t_{9,0,975} \frac{2,58}{\sqrt{n}}$$

$$\sqrt{n} = t_{9,0,975} 2,58 = 2,262 * 2,58 = 5,83 \quad \text{ve}$$

$n = 34,058 \cong 34$  olarak belirlenmiştir.

Bu amaçla hazırlanan A4 basılı anket soru formları, çalışma kapsamında literatür araştırmaları, gözlem ve görüşme teknikleri neticesinde belirlenen 13 adet kriterin gruplandırılarak (ölçek, malzeme, çevre-doğa, biçim) öncelik seviyesinin sorulması şeklinde oluşturulmuştur. Anket formu, çalışmanın kapsamında belirlenen “bir yapının eleştirel rejyonalist-o yer’e (bölgeye) ait” olarak nitelenmesinde etken olduğu düşünülen on üç kriterin her birinin önem derecesine göre, uzmanlar tarafından 1-10 aralığında (Hiç önemli değil / ÇOK önemli) değerlendirmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Hazırlanan anketler, uzmanlarla yüz yüze 1 ay içerisinde tamamlanmıştır. Örneklem için gerekli örneklem büyüklüğü hesaplanmış, 34 adet uzman mimarla anket yapılmıştır. Toplam 34 akademisyene uygulanan anket sonuçlarının 2 tanesinde eksik cevaplamalar olması nedeni ile 32 anket, analize uygun bulunmuş ve değerlendirilmiştir. Anket uygulaması sonucu elde edilen veriler, bilgisayar ortamına uygun hale getirilmiştir.

**Tablo 3.** İlkelere pilot çalışmada verilen cevapların istatistikleri

	N	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma	Varyans
Yapının <b>arazinin topoğrafik yapısına</b> uygun konumlanması	10	8,00	10,00	9,4000	,69921	,489
Yapının <b>doğaya saygılı ve bütüncül bir yaklaşımla</b> tasarlanması (Yapının toprağa, su kaynaklarına, Flora, Faunaya, çevresel sistemlere saygılı olması)	10	6,00	10,00	8,8000	1,47573	2,178
Yapı tasarlanırken <b>doğal aydınlatma/gün ışığının</b> dikkate alınması (Yapıdaki pencereler, doluluklar, boşluklar dikkate alındığında yapının doğal aydınlatma düşünülerek tasarlanması)	10	6,00	10,00	7,7000	1,25167	1,567
Yapı tasarlanırken <b>iklim verilerinin</b> dikkate alınması (Yapının güneş ışığı, doğal ısıtma, doğal havalandırma, doğal gölgelendirme düşünülerek tasarlanması)	10	6,00	10,00	8,0000	1,33333	1,778
Yapının <b>renge ve dokusuyla birlikte</b> çevre doku ile uyumlu olması (Yapı çevre ilişkisi açısından yapının ait olduğu çevredeki yapıların malzemesi ve rengiyle bütünlük bir şekilde tasarlanması, tek başına ayrı durmaması)	10	3,00	9,00	7,5000	1,95789	3,833
Yapıda <b>yerel mimari elemanların</b> (kemer, kolon, saçak uzunluğu pencere/kapı sövesi, çatı eğimi vs.) yorumlanarak kullanımı	10	5,00	10,00	7,9000	1,91195	3,656
Yapıda <b>yerel yapım tekniklerinin (yığma, ahşap kalıp sistemi vs.)</b> yorumlanarak kullanımı	10	2,00	10,00	6,3000	2,58414	6,678
Yapının <b>sade bir biçim diline</b> sahip olması (yapının tasarım anlayışının yalın ve anlaşılabilir olması)	10	5,00	10,00	7,4000	1,77639	3,156
Yapının <b>fonksiyonunu dışa yansıtabilmesi</b> (yapının fonksiyonunun dışarıdan izleyen tarafından net bir şekilde algılanabilmesi)	10	5,00	8,00	6,8000	1,22927	1,511
Yapıda <b>yerel malzemenin</b> (Fiziki çevrede bulunan taş, toprak, ahşap, kerpiç vs yerel malzemeler...) yorumlanarak kullanımı	10	4,00	10,00	7,6000	2,17051	4,711
Yapıda kullanılan malzemeler dikkate alındığında <b>dokunsallığın hissedilmesi</b> (sadece görsel duylara değil, aynı zamanda koku, ses, ısı gibi farklı algılara hitap edebilen malzeme kullanımı)	10	5,00	9,00	6,8000	1,39841	1,956
Yapı kütlelerinin <b>insan ölçeğine yakınlığı</b> (Ölçüler oranlar dikkate alındığında yapının insanı ezmeyen, insancıl bir tavrının olması)	10	4,00	10,00	8,4000	1,95505	3,822
Yapı kütlelerinin <b>çevredeki yapıların ölçeğine uyumu</b> (Yapını ait olduğu çevredeki mevcut yapılar ile orantılı ve ölçekli olması)	10	5,00	10,00	8,3000	1,49443	2,233

**Tablo 4.** Örneklem hacmi için kullanılan parametre ve değerleri

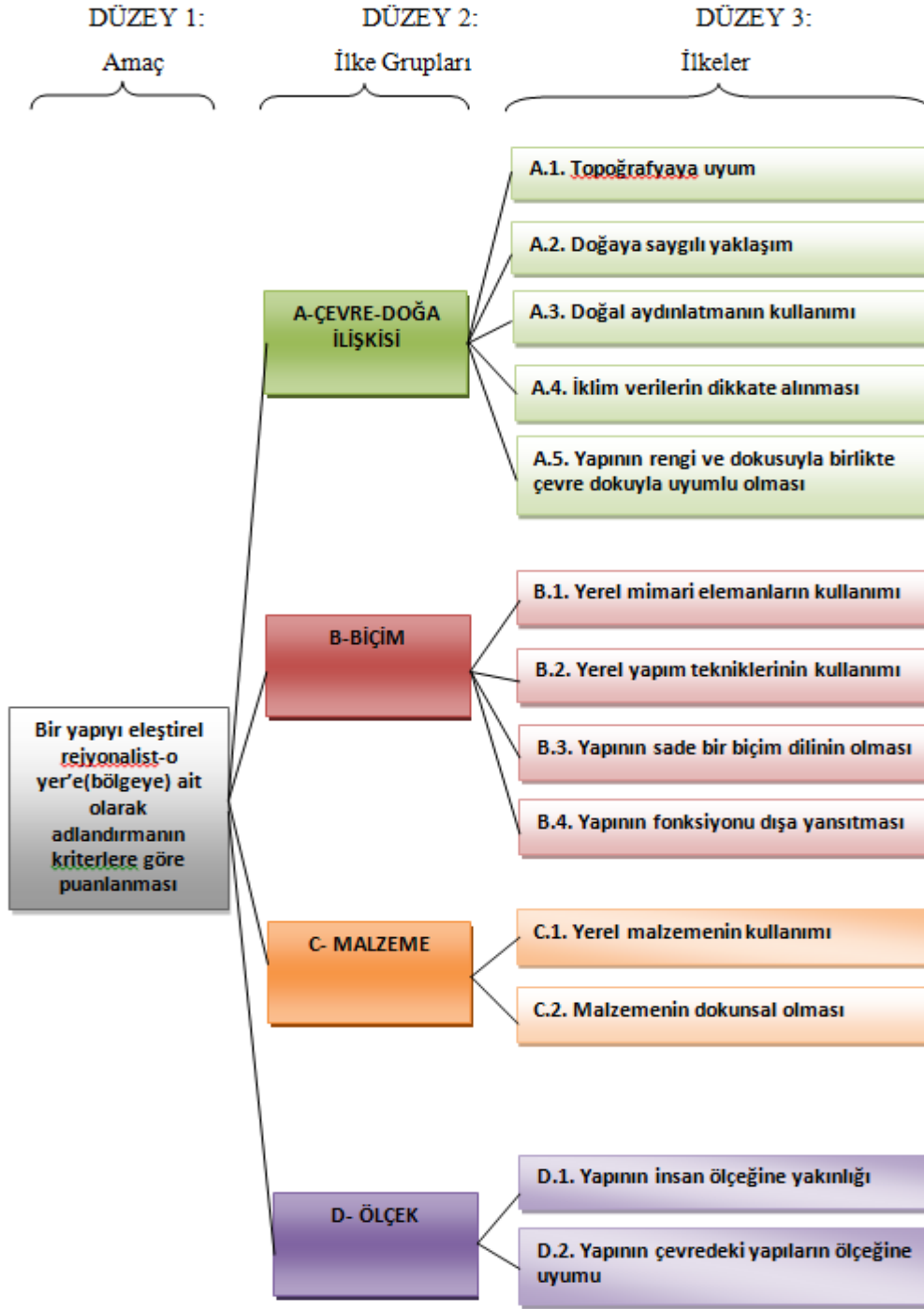
7. kriterin örnek standart sapması ( $s$ )	2,58
Güven aralığı düzeyi ( $1-\alpha$ )	0,95
Duyarlılık ( $d$ )	1,00
I. tip hata ( $\alpha$ )	0,05
Pilot çalışmanın hacmi	10
$t_{9,0,975}$	2,262

### 2.3. AHP yöntemiyle kriterlerinin öncelikli ağırlık değerlerinin belirlenmesi ve önem sıralamasının yapılması

Anket uygulaması sonucu elde edilen veriler, bilgisayar ortamına uygun hale getirilmiş, anket verileri karar analiz tekniklerinden AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmada AHP yöntemi, çalışma kapsamında ortaya konulan *'bir yapıyı eleştirel rejyonalist-o yer'e (bölgeye) ait olarak tanımlayan kriterlerin birbirilerine göre önem ağırlıkları'* tespit ederek

*'bir yapının eleştirel rejyonalist-o yer'e (bölgeye) ait olarak nitelenmesinde görece önem ağırlığı en yüksek olan kriterin tespiti'* amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü gibi 4 kriter grubu ve bu kriter gruplarının farklı sayıda kriterleri vardır. Uzmanlar ankette bu ölçütleri 1-10 skalasında değerlendirmişlerdir.

Anket sonuçları örneklem olarak seçilen 32 uzmanın değerlendirmesi baz alınarak hesaplanmıştır. Çıkan sonuçların birbirine oranlaması sonucunda en az 1, en çok 10 arasında değerler bulunmuştur. Çıkan oransal değerlere karşılık AHP'nin 1-9 temel ölçeğine göre yapılan aralıklandırmalar sonucunda değerler verilmiş ve ikili karşılaştırmalarda bu değerler kullanılmıştır. Uzmanların verdiği önem puanlarının toplanması sonucu A-1 kriteri 297 puan ile en önemli ve C-2 kriteri ise 156 puan ile en önemsiz kriter olarak belirlenmiştir. Kriter grubu olarak 270,4 ortalama puan ile A kriter grubu en önemli ve 185,5 puan ile C kriter grubu ise en önemsiz kriter grubu olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Değerlendirme kriterlerine ait oluşturulan hiyerarşik organizasyon şeması

**Ancak bu değerlendirmeler karşılaştırmalı değerlendirmeler değildir. Bu sebeple, ölçütler arasındaki değerlendirmeleri yapılabilmesi için oransal değerlerin belirlenmesi ve analizi gerekmektedir.**

Oransal değerlerin verilerden toplanarak belirlenmesi ve AHP önem derecelerinin belirlenmesinden sonra AHP analizi ile karşılaştırmalı (hiyerarşik) değerlendirmeler belirlenmiştir.

- Ölçütler Arasında Önem Sıralarının Belirlenmesi ve AHP önem dereceleri

Oranlama için aşağıdaki değerler incelenebilir.

$$A-1 / C-2 = 297/156 = 1.903$$

Bunun anlamı; A-1 kriterine verilen puanların toplamı, C-2 kriterine verilen puanların toplamının 1.903 katıdır. 1,903 oranı Tablo 5’de yapılan AHP önem derecelendirmesinde 2 değerini almaktadır. Bu nedenle, A-1 kriteri, C-2 kriterine göre 2 kat önemlidir denir. Diğer karşılaştırmalarda da oranlamaya göre aralık değerleri verilmiş ve ikili karşılaştırmalar aynı mantık çerçevesinde yapılmıştır.

**Tablo 5.** 1-10 temel ölçeğine göre yapılan AHP derecelendirmesi [15, 16]

Gerçek Oran	Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1,000 - 1,111	1	Eşit derecede önemli	İki faktör aynı derecede önem taşımaktadır.
1,112 - 2,222	2	Ara değer	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler.
2,223 - 3,333	3	Orta derecede önemli	İki faktörden biri diğerine göre biraz daha önem taşımaktadır.
3,334 - 4,444	4	Ara değer	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler.
4,445 - 5,555	5	Kuvvetli derecede önemli	İki faktörden biri diğerine göre fazla önem taşımaktadır.
5,556 - 6,666	6	Ara değer	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler.
6,667 - 7,777	7	Çok kuvvetli derecede önemli	İki faktörden biri diğerine göre çok fazla önem taşımaktadır.
7,778 - 8,888	8	Ara değer	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler.
8,889 - 10.000	9	Kesin önemli	İki faktörden biri diğerine göre aşırı derecede önem taşımaktadır.

AHP'nin ikinci adımında; uzmanların, tüm kriterlerin birbiri üzerindeki önem derecelerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasına dayanır. İlk olarak 'amaca' göre kriterler ikili olarak karşılaştırılır. On üç kriterin amaca göre ikili karşılaştırma yargılarının matris halinde düzenlenmiş şekli ise Denklem 2'deki gibidir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 \\ 0,5 & 1 & 1 & 0,5 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 1 & 1 & 1 & 0,5 & 1 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0,5 & 2 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0,5 & 1 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 1 & 0,5 & 1 & 0,5 & 1 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 0,5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Ardından oluşturulan ikili matrisler, 'normalize edilmiş ağırlık vektörünün hesaplanması' ve 'satır ortalaması' şeklindeki işlem ve hesaplamalara tabi tutularak, amaç için 'görelî önemleri' belirlenmiştir. Öncelikle A matrisindeki 13 adet sütunun toplamı bulunmuş, sütun toplamlarına göre normalizasyonu hesaplanmış ve elde elden sonucun satır ortalaması değeri bulunarak kriterlerin görelî önem ağırlığı hesaplanmıştır. Denklem 3'den Denklem 6'e kadar sırasıyla verilmiştir.

### A matrisinin 13 adet sütun toplamı

$$A_T = [a_{t1} \ a_{t2} \ a_{t3} \ a_{t4} \ a_{t5} \ a_{t6} \ a_{t7} \ a_{t8} \ a_{t9} \ a_{t10} \ a_{t11} \ a_{t12} \ a_{t13}] \quad (3)$$

$$\text{burada } a_{ti} = \sum_{j=1}^{13} a_{ji}, \ i = 1, \dots, 13 \text{ ve } j = 1, \dots, 13$$

$$\begin{aligned} a_{t1} &= \sum_{j=1}^{13} a_{j1} = a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} + a_{71} + a_{81} + a_{91} + a_{101} + a_{111} + a_{121} + a_{131} \\ &= 1 + 1 + 0,5 + 1 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 = 8,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{t2} &= \sum_{j=1}^{13} a_{j2} = a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} + a_{72} + a_{82} + a_{92} + a_{102} + a_{112} + a_{122} + a_{132} \\ &= 1 + 1 + 1 + 1 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 1 = 9,0 \end{aligned}$$

$$a_{t3} = \sum_{j=1}^{13} a_{j3} = a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} + a_{53} + a_{63} + a_{73} + a_{83} + a_{93} + a_{103} + a_{113} + a_{123} + a_{133}$$

$$= 2+1+1+1+0,5+0,5+0,5+0,5+0,5+0,5+0,5+1+1=10,5$$

$$a_{t4} = \sum_{j=1}^{13} a_{j4} = a_{14} + a_{24} + a_{34} + a_{44} + a_{54} + a_{64} + a_{74} + a_{84} + a_{94} + a_{104} + a_{114} + a_{124} + a_{134}$$

$$= 1+1+0,5+1+0,5+0,5+0,5+0,5+0,5+0,5+0,5+1+1=9,0$$

$$a_{t5} = \sum_{j=1}^{13} a_{j5} = a_{15} + a_{25} + a_{35} + a_{45} + a_{55} + a_{65} + a_{75} + a_{85} + a_{95} + a_{105} + a_{115} + a_{125} + a_{135}$$

$$= 2+2+1+2+1+0,5+0,5+0,5+0,5+0,5+0,5+1+1=13,0$$

$$a_{t6} = \sum_{j=1}^{13} a_{j6} = a_{16} + a_{26} + a_{36} + a_{46} + a_{56} + a_{66} + a_{76} + a_{86} + a_{96} + a_{106} + a_{116} + a_{126} + a_{136}$$

$$= 2+2+2+2+2+1+0,5+1+0,5+1+0,5+2+2=18,5$$

$$a_{t7} = \sum_{j=1}^{13} a_{j7} = a_{17} + a_{27} + a_{37} + a_{47} + a_{57} + a_{67} + a_{77} + a_{87} + a_{97} + a_{107} + a_{117} + a_{127} + a_{137}$$

$$= 2+2+2+2+2+2+1+1+1+2+1+2+2=22,0$$

$$a_{t8} = \sum_{j=1}^{13} a_{j8} = a_{18} + a_{28} + a_{38} + a_{48} + a_{58} + a_{68} + a_{78} + a_{88} + a_{98} + a_{108} + a_{118} + a_{128} + a_{138}$$

$$= 2+2+2+2+2+1+1+1+1+2+0,5+2+2=20,5$$

$$a_{t9} = \sum_{j=1}^{13} a_{j9} = a_{19} + a_{29} + a_{39} + a_{49} + a_{59} + a_{69} + a_{79} + a_{89} + a_{99} + a_{109} + a_{119} + a_{129} + a_{139}$$

$$= 2+2+2+2+2+2+1+1+1+2+1+2+2=22,0$$

$$a_{t10} = \sum_{j=1}^{13} a_{j10} = a_{110} + a_{210} + a_{310} + a_{410} + a_{510} + a_{610} + a_{710} + a_{810} + a_{910} + a_{1010} + a_{1110} + a_{1210} + a_{1310}$$

$$= 2+2+2+2+2+1+0,5+0,5+0,5+1+0,5+2+2=18,0$$

$$a_{t11} = \sum_{j=1}^{13} a_{j11} = a_{111} + a_{211} + a_{311} + a_{411} + a_{511} + a_{611} + a_{711} + a_{811} + a_{911} + a_{1011} + a_{1111} + a_{1211} + a_{1311}$$

$$= 2+2+2+2+2+2+1+2+1+2+1+2+2=23,0$$

$$a_{t12} = \sum_{j=1}^{13} a_{j12} = a_{112} + a_{212} + a_{312} + a_{412} + a_{512} + a_{612} + a_{712} + a_{812} + a_{912} + a_{1012} + a_{1112} + a_{1212} + a_{1312}$$

$$= 2+2+1+1+1+0,5+0,5+0,5+0,5+0,5+0,5+1+1=12,0$$

$$a_{t13} = \sum_{j=1}^{13} a_{j13} = a_{113} + a_{213} + a_{313} + a_{413} + a_{513} + a_{613} + a_{713} + a_{813} + a_{913} + a_{1013} + a_{1113} + a_{1213} + a_{1313}$$

$$= 2+1+1+1+1+0,5+0,5+0,5+0,5+0,5+0,5+1+1=11,0 \text{ olmak üzere}$$

$$A_T = [8,0 \ 9,0 \ 10,5 \ 9,0 \ 13,0 \ 18,5 \ 22,0 \ 20,5 \ 22,0 \ 18,0 \ 23,0 \ 12,0 \ 11,0] \text{ olur.}$$





Yukarıdaki sonuçlara göre kriterlerin 'bir yapıyı eleştirel rejyonalist-o yer'e (bölgeye) ait olarak adlandırma' amacı için, birbirlerine göre önem ağırlıkları ve hiyerarşik sıralamaları ise 1'den 10'a kadar olmak üzere Tablo 6'da gösterilmiştir (bazı kriterler aynı puanı almıştır). **Görelî önem ağırlığı en yüksek olan kriterin, 'arazinin topoğrafik yapısına uyum' kriteri olduğu tespit edilmiştir. İkinci sırada önem ağırlığına sahip olan kriter 'doğaya saygılı yaklaşım' kriteri ve üçüncü sırada önem ağırlığına sahip olan kriter 'iklim verilerinin dikkate alınması' kriterinin olduğu tespit edilmiştir.**

Kriter önem ağırlığı sıralamasında; dördüncü sırada 'çevredeki yapıların ölçeğine uyum' kriteri, beşinci sırada 'yapının insan ölçeğine yakınlığı' ve 'doğal aydınlatma/gün ışığının dikkate alınması' kriterleri, altıncı sırada 'yapının rengi ve dokusuyla birlikte çevre dokuya uyumu' kriteri, yedinci sırada 'yerel malzeme kullanımı' kriteri, sekizinci sırada 'yerel mimari elemanların kullanımı' kriteri, dokuzuncu sırada 'sade biçim diline sahip olma' kriteri, onuncu sırada 'yerel yapı tekniklerinin kullanımı' ve 'fonksiyonunu dışa yansıtabilmesi' kriterleri, on birinci ve son sırada 'dokunsal olma' kriteri yer almaktadır. Tutarlılık oranı (CR) 0.014 olarak hesaplanmış olup, 0,10'dan küçük olduğundan karar vericinin kriterlere ilişkin yargılarının tutarlı olduğu görülmektedir.

**Tablo 6.** 13 kriterin hiyerarşik sıralaması ve önem ağırlık değeri

Önem sırası	İlkeler	Önem Ağırlık Değeri
1	A1	0,125
2	A2	0,111
3	A4	0,104
4	D2	0,094
5	A3	0,089
5	D1	0,089
6	A5	0,081
7	C1	0,063
8	B1	0,060
9	B3	0,050
10	B2	0,045
10	B4	0,045
11	C2	0,043
<b>TOPLAM</b>		<b>0,999</b>

### 3. Bulgular

Çalışma kapsamında ortaya konulan on üç kriter uzmanlar tarafından test edilip geçerli not almış ve çalışma kapsamında mimari tasarımda "**eleştirel rejyonalist-o yer'e (bölgeye) ait tasarım kriterleri**" olarak literatüre kazandırılmıştır. Uzmanlara göre bir yapıyı o yer'e (bölgeye) ait olarak adlandırmada en önemli kriterin '**arazinin topoğrafik yapısına uyum**' kriteri olduğu tespit edilmiştir. İkinci sırada önem ağırlığına sahip olan ilke '**doğaya saygılı yaklaşım**' ilkesi ve üçüncü sırada önem ağırlığına sahip olan ilke

'**iklim verilerinin dikkate alınması**', ilkesinin olduğu tespit edilmiştir. İlke önem ağırlığı sıralamasını; dördüncü sırada '**çevredeki yapıların ölçeğine uyum**' ilkesi, beşinci sırada '**yapının insan ölçeğine yakınlığı**' ve '**doğal aydınlatma/gün ışığının dikkate alınması**' ilkeleri ile sıralama devam etmektedir. Uzmanlar tarafından en az öneme sahip ilkenin 'dokunsal olma' ilkesi olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca çalışma kapsamında ortaya konulan Frampton'ın on maddesinde yer almayan ölçek başlığı altında iki yeni kriterin '**Yapının çevredeki yapıların ölçeğine uyumu**' kriteri ve '**yapının insan ölçeğine yakınlığı**' kriterinin **uzmanlar tarafından ilk beşte sıralanması çalışmanın bilime olan katkısını vurgulamaktadır.**

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında, bir mimari ürünü "**eleştirel rejyonalist-o yer'e (bölgeye) ait**" olarak tanımlamada yeni bir bakış açısı kazandırılmıştır:

### 4. Tartışma ve Sonuç

Mimarlık, yeryüzünde, 'yer' den başladığı ve o 'yer'de olduğu zaman, anlamlı hale gelir. Mimarlık disiplini insanın 'yer' ile kurduğu ilişkiyi yansıtan bir araç konumunda olup tüm süreçte insanın 'yer'e ilişkin algısının değişimi mimarlık anlayışının da değişimine yol açmıştır. İnsanların mekânlarını kurgulama biçimleri değişen sosyo-ekonomik ve toplumsal koşullar ile birlikte değişim geçirmiştir. Endüstri öncesi ve sonrası toplumlarda, mekân ve yer olgularının ele alınışları temelde birbirlerinden farklıdır. Benzer şekilde, çağdaş mimari içinde yer alan modern ve postmodern dönemlerdeki mekân anlayışları da, kendi bağlamlarında birbirlerinden farklıdır.

Sanayi devriminin sonrasında ortaya çıkan modernizmde zaman-mekân anlayışı geleneksel toplumların zaman-mekân kavrayışından farklıdır. Geleneksel toplumlarda üretim ve 'yer' zamanla bütünleşik bir oluşum iken sanayileşme ve kapitalizm; üretim sistemlerini, dolayısıyla zamanı, 'yer'den koparıp nesnelleştirerek ölçülebilir, evrensel, nicel bir değer haline getirmiştir. Modernizmin geleneği, kültürü yerel değerleri reddetmiş, sadece insanların fiziksel ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik rasyonel, nesnel ve evrensel kurullarla, 'yer' olgusunu tümüyle hiçe sayan kentler ve mekânlar yaratmaya başlamıştır.

Modernizm mekânın fiziksel gereksinimlere cevap verirken, duygusal beklentilere cevap vermediği ve bunun "insan mekân ilişkisinin tarihsel süreklilik ve yerel değerler içinde incelenerek ortaya yeni bir mekân anlayışı ile çözülebileceği" düşünceleri ile 1980'lerde ortaya çıkan postmodernizm, insan mekân ilişkisini yeniden yorumlamıştır. Ancak post-modern tasarım söylem içinde, yerel ve kültürel

değerlerin bağlamından kopararak kullanılması, mimarlığın çoğulcu ortamda farklı zevklere ve tüketim metasına dönüşmesine neden olmuştur. Küresel sermayenin arayışları ve beklentileri doğrultusunda değişim sürecine giren kentler ve kentsel mekânlar giderek birbirine benzemeye, aynılaşmaya başlamıştır. Simgeler, görüntüler, semboller önemli hale gelerek, yerellik ve özgünlüklerin içi boşaltılmış seyirlik birer meta haline getirilmiştir.

'Yer'e özgü değerlerin yitirilmesi, mimarlığın kendisine özgü yapısını kaybetmesine yol açmış; modernleşme ile başlayan postmodernizm ile devam eden değişim süreçleri sonunda, 'bulunulan' yerden ve 'yaşanan' zamandan bağımsız, her yere ve zamana ait olabilecek mekânlar üretilmeye başlanmıştır. Schulz, yerlerin kendine özgü değerlerine vurgu yaparak, insanın varoluşunu hissetmesinin yerin ruhunu yansıtan mimari çevrelerle mümkün olabileceğini ifade etmektedir. Schulz [1] yerin ruhu kavramında, yeri deneyimlemenin, yerin kendine has özelliklerinin açığa çıkarılmasının, mimarlığın esas görevi olduğunu aksi halde mimarlığın 'anlamsız' bir iş olacağını söylemektedir [17]. Her yerin kimliğini oluşturan, ona özgü bir karakteri, özelliği olduğunu ve mimarlığın bunu ortaya çıkarması gerekliliğini savunmaktadır. Yerin kimliğinin ne olduğunu anlamak için de, yerin sahip olduğu özellikler tanımlanmalı ve yerin ruhu yeni tasarıma aktarılmalıdır. Çalışma, yerin ruhunun somutlaştırmanın aracı olarak yer ve yerellik odaklı bir mimarlık öneren 'Eleştirel Bölgeselcilik' kavramını savunmaktadır. Eleştirel Bölgeselcilik, hem kültürel sürekliliği sağlamayı, hem de evrensel uygarlık içinde kalabilmeyi amaçlayan yer odaklı bir yaklaşımdır. Eleştirel Bölgeselci yaklaşımda, iklim, ışık gibi bölgesel nitelikleri, kültüre ilişkin verileri, mimarlığın tektonik ifadesi ile birleştirilir. Böylece sahnesel olmayan, insanın algılayabildiği ve hissedebildiği, bulunduğu yere ait bir mimarlık oluşur.

Çalışma kapsamında yapılan literatür araştırması sonucunda, eleştirel bölgeselcilikle ilgili çalışmaların genellikle teorik düzeyde kaldığı tespit edilmiştir. Eleştirel bölgeselciliğin mimari tasarım kriterlerinin eksik ve yetersiz olduğu belirlenmiş, konuyla ilgili çalışma yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmayla bu boşluk doldurulmuş "*eleştirel rejyonel tasarım kriterleri*" ortaya konulmuş ve bu kriterlerin geçerliliği, öncelik sırası uzmanlar tarafından belirlenmiştir.

Elde edilen veriler öngörülen hedeflere ulaşmada tasarımcı için yol gösterici bir rehber niteliği taşımaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen eleştirel bölgesel tasarım kriterlerinin mimari tasarım sürecinde aktif bir şekilde kullanılmasıyla elde edilen mimari tasarımlar yapay donanımlara ihtiyaç duymaksızın bulunduğu çevre ile

bütünleşerek gerçeklik duygusu yaratacaktır. Çünkü mimari tasarım, ancak çevresini saran, mikro ölçekten makro ölçeğe kadar sosyal, kültürel, fiziksel ve teknolojik olarak ontolojik bütünlüğü sağlayıp 'yer'le ilişkisini başarılı kurduğu ölçüde yaşamaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışma, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalında Prof. Dr. Ahmet ALKAN'ın danışmanlığında tamamlanan Emine YILDIZ KUYRUKÇU'nun '*Mimari Tasarımda Eleştirel Bölgeselci Yaklaşımın Gelişim Süreci: Kenneth Frampton İlkeleri Bağlamında Bir Değerlendirme*' isimli Doktora Tezinden üretilmiştir.

## Kaynakça

- [1] Norberg-Schulz, C. 1980. *Genius loci: towards a phenomenology of architecture*. Rizzoli, New York.
- [2] Abel, C. 1997. *Architecture and Identity: Responses to Cultural and Technological Change*. Architectural Press, Oxford, United Kingdom
- [3] Corbusier, L. 1952. *Towards A New Architecture*. The Architectural Press, London, 7-126.
- [4] Orhon, T., Yırtıcı, H. 1995. Postmodernizm, Gelenek ve Olumlamanın Kolaylığı. *Arredamento architecture* (70), 132-134.
- [5] McLeod, M. 1989. *Architecture and politics in the Reagan era: From postmodernism to deconstructivism*. *Assemblage* (8), 23-59.
- [6] Venturi, R. 1977. *Complexity and contradiction in architecture*. The museum of modern art, New York.
- [7] Harvey, D. 1997. *Postmodernliğin Durumu*. Translated by Sungur Savran, Metis publications.
- [8] Allen, B. L. 2007. *On Performative Regionalism*. in Canizaro, Vincent B. (eds.), *Architectural regionalism: collected writings on place, identity, modernity, and tradition*, Princeton Architectural Press, New York, 421-426.
- [9] Canizaro, V. B. 2007. *Introduction*. in Canizaro, V. B. (eds.), *Architectural Regionalism: Collected Writings on Place, Identity, Modernity, and Tradition*, Princeton Architectural Press, New York, 17-33.
- [10] Tzonis, A., Lefavre, L. 1985. *The Grid and the Pathway: An Introduction to the Work of Dimitris and Suzana Antonakakis in the Context of Greek Architectural Culture*. in Frampton, K. (eds.), *Atelier 66: The Architecture of Dimitris and Suzana Antonakakis*.
- [11] Tzonis, A., Lefavre, L. 1996. *Why Critical Regionalism Today?*. in Nesbitt, K. (eds.), *Theorizing a New Agenda for Architecture: An*

- Anthology of Architectural Theory 1965-1995, Princeton Architectural Press.
- [12] Frampton, K. 1983. Towards a Critical Regionalism: Six Points for an Architecture of Resistance. in Foster, H. (eds.), *The Anti-Aesthetic: Essays on Postmodern Culture*, Bay Press, Post Townsend, Washington, 16-30.
- [13] Frampton, K. 1983 Prospects for a Critical Regionalism. *Perspecta*, 20, 147-162.
- [14] Frampton, K. 1992. Critical regionalism: Modern architecture and cultural identity. in Frampton K. (eds.), *Modern architecture: A critical history*, Thames & Hudson world of art, 314-327.
- [15] Saaty, T. L. 1994. *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. Vol. VI, Universitas Pittsburgh, USA.
- [16] Saaty, T. 2005. The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making, *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*, 345-405.
- [17] Van Nes, A. 2008. *The Heaven, the Earth and the Optic Array: Norberg-Schulz's Place Phenomenology and its Degree of Operationability*, Footprint.

## A Practical Method for the Dynamic Analysis of Non-Uniform Piezoelectric Rod

Durmuş YARIMPABUÇ<sup>\*1</sup>, Mehmet EKER<sup>2</sup>, Kerimcan ÇELEBİ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Science and Literature, Department of Mathematics, 80000, Osmaniye  
<sup>1</sup>(ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-8763-1125>)

<sup>2</sup>Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 80000, Osmaniye  
<sup>2</sup>(ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-6785-1710>)

<sup>3</sup>Cukurova University, Ceyhan Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 01950, Adana  
<sup>3</sup>(ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-6294-0872>)

(Alınış / Received: 28.06.2018, Kabul / Accepted: 06.01.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 23.03.2019)

### Keywords

Forced vibration,  
Piezoelectric rod,  
Laplace transform,  
Pseudospectral Chebyshev  
Method

**Abstract:** In this paper, a unified approach for the dynamic analysis of non-uniform piezoelectric rod is presented. It is assumed that the cross sectional area of the rod is varying along the longitudinal axis, arbitrarily. Therefore, the partial differential equations that govern the non-uniform piezoelectric isotropic rod in a forced vibration analysis are obtained with a variable coefficient taking into account mechanical and electrostatic equations. Analytical solutions of these equations are only possible for simple cross-section areas. First, the governing equations are transformed to the Laplace space and then solved numerically by pseudospectral Chebyshev approach for arbitrary cross-section area under four different load functions. The final results are transformed to the time domain using modified Durbin's procedure. The technique is validated for simple cross-section area results that can also be solved analytically.

## Düzgün Olmayan Piezoelektrik Çubuğun Dinamik Analizi için Pratik Bir Yöntem

### Anahtar Kelimeler

Zorlanmış titreşim,  
Piezoelektrik çubuk,  
Laplace dönüşümü,  
Pseudospectral Chebyshev  
yöntemi

**Özet:** Bu çalışmada, düzgün olmayan piezoelektrik çubuğun dinamik analizi için birleşik bir yaklaşım sunulmaktadır. Çubuğun enine kesit alanının rastgele olarak uzunlaşmasına eksen boyunca değiştiği varsayılmaktadır. Bu nedenle, zorlanmış titreşim analizinde düzgün olmayan piezoelektrik izotropik çubuğu idare eden kısmi diferansiyel denklemler, mekanik ve elektrostatik denklemler dikkate alınarak değişken bir katsayılı olarak elde edilirler. Bu denklemlerin analitik çözümleri sadece basit kesit alanları için mümkündür. İlk olarak, sistemi idare eden denklemler Laplace uzayına dönüştürülür ve daha sonra dört farklı yük fonksiyonu altında rastgele kesit alanı için pseudospektral Chebyshev yaklaşımı ile sayısal olarak çözülür. Nihai sonuçlar, modifiye edilmiş Durbin prosedürü kullanılarak zaman uzayına dönüştürülür. Yöntem, analitik olarak da çözülebilen basit kesit alanına sahip piezoelektrik çubuk sonuçları ile doğrulanmıştır.

### 1. Introduction

Smart materials are new generation materials that have ability to change their properties in a particular manner in response to specific stimulus input. Piezoelectric materials are very common example of smart materials that are able to deform under an electric field or produce an electric signal as a result of any mechanical effect. Piezoelectric materials, considered to be active smart materials and therefore, they can be used as force transducers and actuators. These materials find application in the field of structural engineering such as monitoring the civil engineering structures to evaluate their stability. Some materials, such as rods and beams, are designed with variable cross-section due to technical advantages in specific piezoelectric ap-

plications. Vibration behavior of non-uniform rods with variable cross section were investigated extensively in the literature [1–6]. Studies on the piezoelectricity are usually related to finite and infinite dimensional structures in different geometries such as thin rods, solid or hollow cylinders, plates, discs, cylindrical shells. In the case of complicated geometrical shapes and material properties, applying numerical methods is often inevitable. Piezoelectric transducers can be treated as rods in terms of mathematical modelling. Thus, it is important to confirm the vibration behavior of piezoelectric rods.

Chen and Zhang [7] obtained analytical equations of a non-uniform cross section rod. For piezoelectromagnetic beam, one dimensional equations derived by Zhang et al.

\* Corresponding author: [durmusyarpabuc@osmaniye.edu.tr](mailto:durmusyarpabuc@osmaniye.edu.tr)

[8] for the flexure and extension with shear deformation from three dimensional equations. Nadal and Pigache [9] established accurate electromechanical model of a piezoelectric transformer by using Hamilton's principle to obtain the equations of motion for free vibrations. Li and Zhifie [10] furthered the field based on the elasticity theory and piezoelectricity with state space based differential quadrature method to the free vibrations of a functionally graded piezoelectric beam under different boundary conditions. By the help of piezoelectric patch actuator, active vibration controlling in structural elements like beam and plate etc. is also promising research area. The optimal time dependent vibration control of the Timoshenko beam is examined by Yildirim [11] and with damping effect by Kucuk [12]. The optimal control is determined by using maximum principle in their paper. The vibrations activated by external force in a rectangular plate with Kelvin-Voigt damping are controlled by piezoelectric patch actuators bonded two sides of the plate in Yildirim's study [13]. He analytically solved the problem by using Galerkin expansions. In our previous studies, free [14, 15] and forced longitudinal vibrations [16] of non-uniform piezoelectric rod is solved numerically by complementary function method (CFM), pseudospectral Chebyshev method and analytically by Bessel functions for an arbitrary cross-section area. Differentiation matrices that signify the approximations at grid points play an important role in the implementation of spectral collocation methods [17]. Constructing procedure of Chebyshev differentiation matrices with the help of Chebyshev points (grid point) is found in [18] and the implementation for numerical solution of convection-diffusion problem in [19]. In this study, forced longitudinal vibration of non-uniform piezoelectric (PZT-4) fixed-free supported rod is solved in Laplace domain numerically by Chebyshev pseudospectral approach for arbitrary cross-section area under four different load functions. Durbin's Laplace inversion procedure is used to get the results in the time domain [20]. Then, the numerical and analytical consequences are compared.

## 2. Material and Method

Rosen type transducers provide the most efficient tools in piezoelectric applications. The transducer consists of two parts including a driving portion and receiving portion that is operated by exploiting extensional vibrations of these parts. Each of the driving portion and receiving portion with different coordinates and under different polarization conditions are to be considered as a piezoelectric rod. The non-uniform piezoelectric rods polarized along the longitudinal axis are considered for three different cross-sectional areas: power, exponential and cosinusoidal form [16].

Constitutive equations of piezoelectric materials that exhibit linear behavior define electromechanical properties and can be derived in variety ways to tailor for desired properties [7]. Under the assumption of material properties do not change along the x-axis, and with the consideration of mechanical and electrostatic equations together, the governing equation of the system can be written in the

following form [7, 14],

$$\frac{d^2u}{dx^2} + \frac{1}{A(x)} \frac{dA(x)}{dx} \frac{du}{dx} = \frac{\rho}{\bar{c}_{11}} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

where  $u$  is the extensional displacement,  $A(x)$  is the cross sectional area varying along the longitudinal axis,  $\bar{c}_{11} = \tilde{c}_{11} + \frac{\tilde{e}_{11}^2}{\tilde{\epsilon}_{11}}$  and  $\tilde{c}_{11}$ ,  $\tilde{e}_{11}$  and  $\tilde{\epsilon}_{11}$  elastic, piezoelectric and dielectric constants for longitudinal motions respectively. Clamped-free supported rod which is electrically open on two ends is considered, therefore the initial and boundary conditions become,

$$u(x, 0) = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = 0 \quad (2a)$$

$$u(0, t) = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial x}(l, t) = \frac{P(t)}{\bar{c}_{11}A(l)} \quad (2b)$$

where  $P(t)$  represents load functions applied to the free end of the rod. Four different types of loading functions have been applied to the system: step, sinusoidal impulsive, arbitrary and ramped [16, 21]. If Laplace transformation is applied to Equation (1) by using initial conditions (2a), the following ordinary differential equation is obtained

$$\bar{U}'' + P(x, s)\bar{U}' + Q(s)\bar{U} = 0 \quad (3)$$

with

$$P(x, s) = \frac{1}{A(x)} \frac{dA(x)}{dx}, \quad Q(s) = -\frac{s^2\rho}{\bar{c}_{11}}$$

where  $()'$  denotes the derivative with respect to  $x$ ,  $\bar{U} = U(x, s)$  is the Laplace transformation of  $u$ , and  $s$  is the Laplace transform parameter. And, the transformed boundary conditions (2b) written in the following way:

$$U(0, s) = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial x}(l, s) = \frac{p(s)}{\bar{c}_{11}A(l)} \quad (4)$$

where  $p(s)$  is the Laplace transform of the load  $P(t)$  [16].

## 3. Pseudospectral Chebyshev Model

Pseudospectral Chebyshev Model used to perform forced vibration analysis of non-uniform piezoelectric rod by referring to the study of Gottlieb [22] and Trefethen [17] that depends on discretization the governing equations (3) with respect to the spatial variable using pseudospectral Chebyshev method. With regard to collocation points, the first order  $(n+1) \times (n+1)$  Chebyshev differentiation matrix

$$0 = x_0 < x_1 < \dots < x_n, \text{ with } x_j = \frac{1}{2}[1 - \cos(j\pi/n)]$$

( $j = 0, 1, \dots, n$ ) will be denoted by  $D$ . First-order Chebyshev differentiation matrix  $D$  provides highly precise approximation to  $\bar{U}'(x_j), \bar{U}''(x_j), \dots$ , simply by multiplication differential matrix with vector data  $\bar{U}'(x_j) = (D\bar{U})_j$ ,  $\bar{U}''(x_j) = (D^2\bar{U})_j$ , suchlike where  $\bar{U} = [\bar{U}_0, \dots, \bar{U}_n]^T$  discrete vector data at positions  $x_j$ . The computation procedure of the Chebyshev differentiation matrix

and codes as a m-file can be found in notable references, see e.g., Trefethen [17], where the collocation points  $x_i$  are numbered from right to left and defined in  $[-1, 1]$ . With a small revision, the method can be implemented to any interval.

### 3.1. Formulation

Three different cross-section forms depend on the longitudinal axis are considered in this research. The cross-sectional areas are given in the following forms:

$$\text{Power form: } A_p(x) = A_0 \left( a + b \frac{x}{l} \right)^n \quad (5a)$$

$$\text{Exponential form: } A_e(x) = A_0 e^{-\frac{nx}{l}} \quad (5b)$$

$$\text{Cosinusoidal form: } A_c(x) = A_0 \cos^2 \left[ a \frac{nx}{l} + b \right] \quad (5c)$$

The linear ordinary differential equation in Laplace domain (3) is basically converted to a linear system by using the differential matrix operator. First and second-order derivatives in Equation (3) can be discretized with differential matrix in the following way:

$$\begin{bmatrix} \frac{dU}{dx}(x_0, s) \\ \frac{dU}{dx}(x_1, s) \\ \vdots \\ \frac{dU}{dx}(x_n, s) \end{bmatrix} \approx D \begin{bmatrix} U(x_0, s) \\ U(x_1, s) \\ \vdots \\ U(x_n, s) \end{bmatrix} \quad (6)$$

and

$$\begin{bmatrix} \frac{d^2U}{dx^2}(x_0, s) \\ \frac{d^2U}{dx^2}(x_1, s) \\ \vdots \\ \frac{d^2U}{dx^2}(x_n, s) \end{bmatrix} \approx D^2 \begin{bmatrix} U(x_0, s) \\ U(x_1, s) \\ \vdots \\ U(x_n, s) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Rearranging the Equation (3) by using differential matrix approximation,

$$M\bar{U} = 0 \quad (8)$$

linear equation system is obtained, where

$$M = D^2 + P(x, s)D + Q(s) \quad (9)$$

Here,  $P(x, s)$  is a variable coefficient and depending on the cross-sectional areas. This coefficient takes the following forms for three different cross-section:

$$\text{Power form: } P(x, s) = \frac{nb}{(al + bx)},$$

$$\text{Exponential form: } P(x, s) = \frac{n}{l},$$

$$\text{Cosinusoidal form: } P(x, s) = -\frac{2na}{l} \tan \left[ a \frac{nx}{l} + b \right].$$

When boundary conditions (4) are applied to this linear system (8), nontrivial solution is obtained in Laplace space. Then, the results are transformed into the time domain by using inverse Laplace transformation (modified Durbin's) procedure.

## 4. Results

This section will present some numerical example showing the capability of the presented method and also to confirm the simulated results with analytical examinations for constant cross-section case. For this purpose, a general objective computer program is coded in Matlab to analyze the forced vibration of non-uniform piezoelectric rods. Material constants for PZT-4 was taken from [23]. The geometrical parameters  $a, b$  are taken as 0.8,  $-0.2$  and inhomogeneity parameter  $n$  is taken as 1, 1.5, 1.8 for the entirety of this study. The results for  $n = 0$  are corresponding to uniform cross-section with constant material properties. Comparison of analytical results are presented for uniform rod to ensure the efficacy and adequacy of the present method and monitored in Table 1 [16]. It can be noted from Table 1, the pseudospectral Chebyshev method results match quite well (six-digit accuracy for  $N = 10$ ) with the analytical results. Figure 3(a-l) show the displacement on the end of the rod ( $x = l$ ) for different geometrical models subjected to dynamic loads. As shown in Figure 3(a-l), the inhomogeneity parameter is a useful parameter for controlling the displacement amplitude.

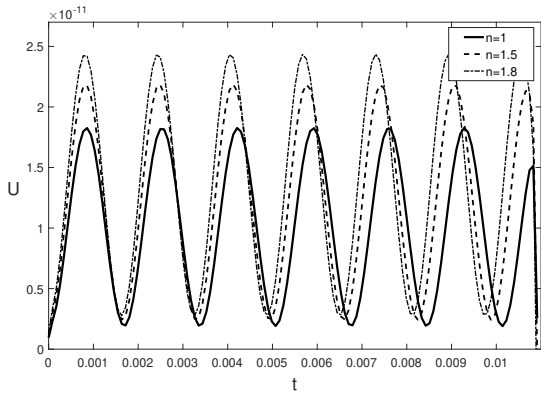
## 5. Discussion and Conclusion

In this study, a unified numerical approach for the dynamic analysis of non-uniform piezoelectric rod is presented. It is assumed that the cross sectional area of the rod is varying along the longitudinal axis, arbitrarily. The numerical models of the forced vibration of non-uniform piezoelectric (PZT-4) rods are obtained in the Laplace space and then solved numerically by pseudospectral Chebyshev method. Inverse transformation into the time domain is achieved by modified Durbin's method. It can be concluded from this research that:

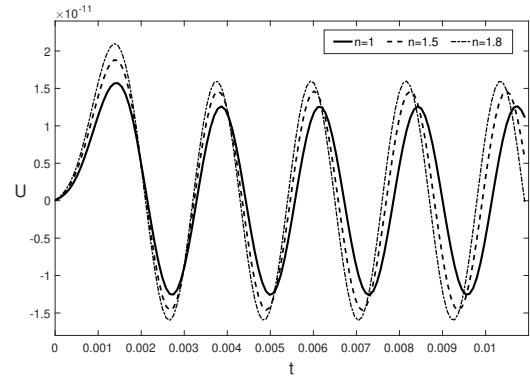
- This unified procedure can be easily applied to any dynamical problems.
- The solution procedure has sufficient accuracy, small computational costs and ease of application.
- In terms of design perspective, the inhomogeneity parameter constitutes an adjustment variable for particular applications. This further enables control on the displacement amplitude.

**Table 1.** Comparison of displacement ( $u$ ) at the end of the rod ( $x = L$ ) for constant cross-section. ( $u \times 10^9$ )

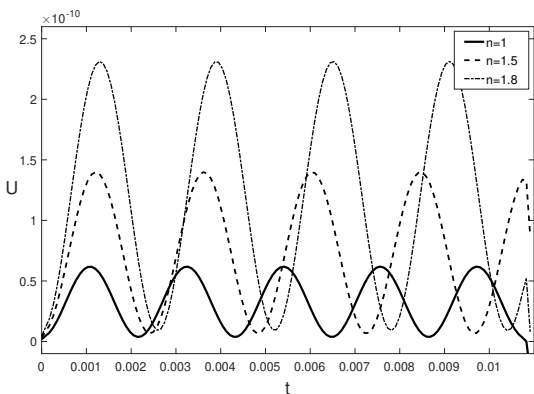
Step Load		Sinusoidal Load		Arbitrary Load		Periodic Load	
Numeric	Analytic[16]	Numeric	Analytic[16]	Numeric	Analytic[16]	Numeric	Analytic[16]
0.004884	0.004884	0.000350	0.000350	-0.014654	-0.014654	0.000046	0.000046
0.070423	0.070423	0.074244	0.074244	-0.096752	-0.096752	0.009464	0.009464
0.077362	0.077362	-0.017375	-0.017375	-0.167576	-0.167576	0.014953	0.014953
0.010689	0.010689	-0.053253	-0.053253	0.243588	0.243588	0.024008	0.024008
0.062570	0.062570	0.064356	0.064356	-0.016346	-0.016346	0.033869	0.033869
0.083473	0.083473	-0.003522	-0.003522	-0.212244	-0.212244	0.039452	0.039452
0.013151	0.013151	-0.061249	-0.061249	0.220716	0.220716	0.048004	0.048004
0.054286	0.054286	0.057556	0.057556	0.041104	0.041104	0.054218	0.054218
0.088319	0.088319	0.010472	0.010472	-0.256964	-0.256964	0.051812	0.051812
0.017159	0.017159	-0.066794	-0.066794	0.185620	0.185620	0.049435	0.049435



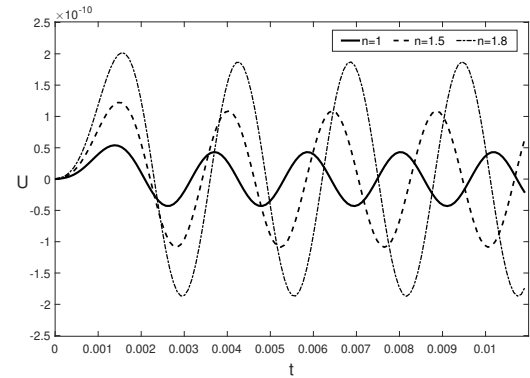
**Figure 1 (a):** Step load with power form cross section



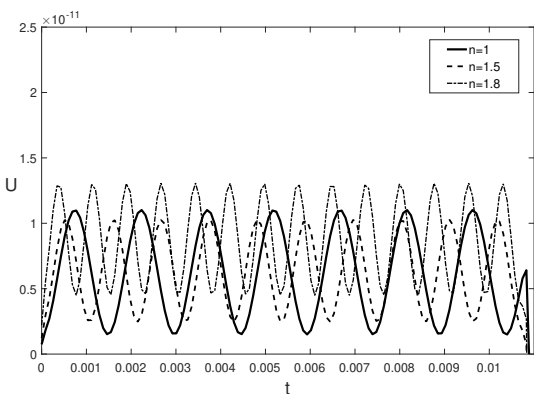
**Figure 1 (d):** Sinusoidal load with power form cross sec.



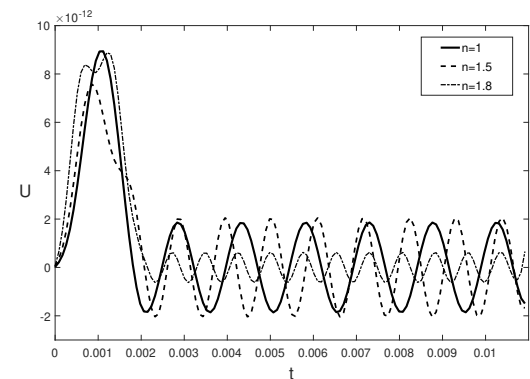
**Figure 1 (b):** Step load with exponential form cross sec.



**Figure 1 (e):** Sinusoidal load with exponential form cross section



**Figure 1 (c):** Step load with cosinusoidal form cross sec.



**Figure 1 (f):** Sinusoidal load with cosinusoidal form cross section



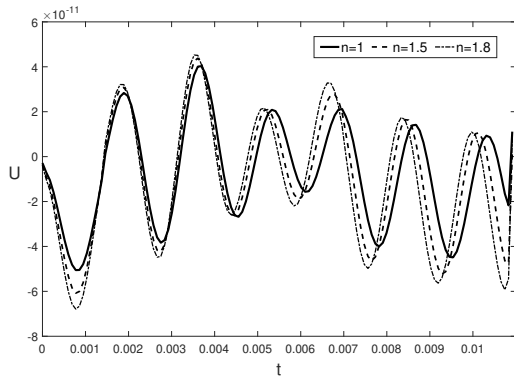


Figure 1 (g):Arbitrary load with power form cross sec.

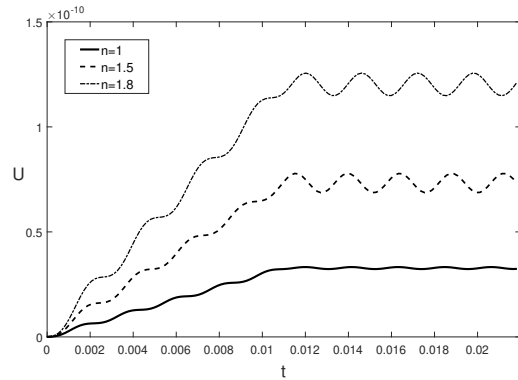


Figure 1 (k):Ramped load with exponential form cross section

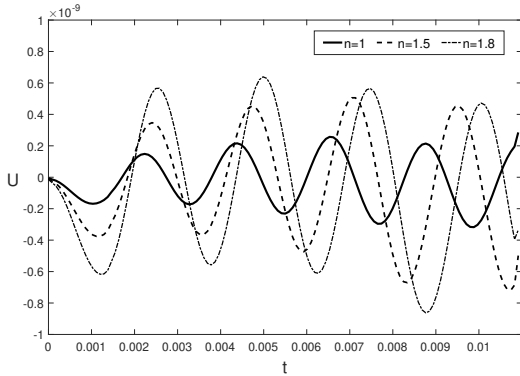


Figure 1 (h):Arbitrary load with exponential form cross section

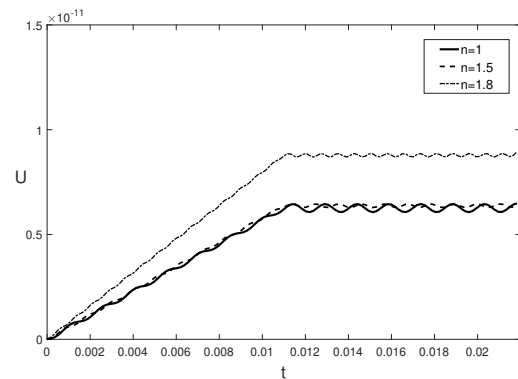


Figure 1 (l):Ramped load with cosinusoidal form cross section

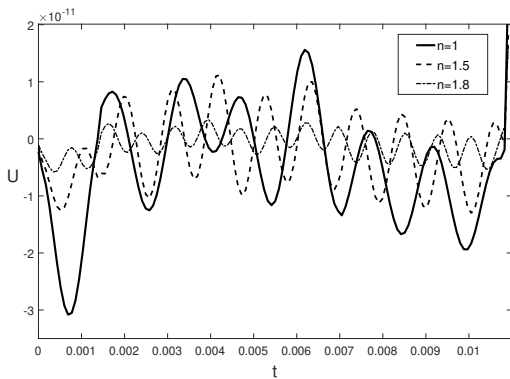


Figure 1 (i):Arbitrary load with cosinusoidal form cross section

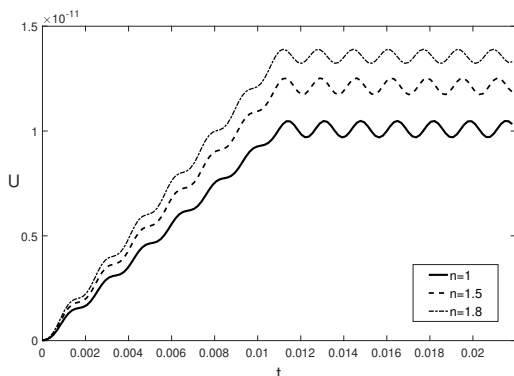


Figure 1 (j):Ramped load with power form cross sec.

## References

- [1] Eisenberger, M., 1991. Exact Longitudinal Vibration Frequencies of a Variable Cross-Section Rod, *Applied Acoustics*, 34(2)(1991), 123-130.
- [2] Abrate, S., 1995. Vibration of Non-Uniform Rods and Beams, *Journal of Sound and Vibration*, 185(4)(1995), 703-716.
- [3] Kumar, B. M., 1997. Sujith, R. I., Exact Solutions for the Longitudinal Vibration of Non-Uniform Rods, *Journal of Sound and Vibration*, 207(5)(1997), 721-729.
- [4] Li, Q. S., 2000. Free Longitudinal Vibration Analysis of Multi-Step Non-Uniform Bars Based on Piecewise Analytical Solutions, *Engineering Structures*, 22(9)(2000), 1205-1215.
- [5] Li, Q. S., 2000. Exact Solutions for Longitudinal Vibration of Multi-Step Bars with Varying Cross-Section, *Journal of Vibration and Acoustics*, 122(2)(2000), 183-187.
- [6] Yardimoglu, B., Levent, A., 2011. Exact Longitudinal Vibration Characteristics of Rods with Variable Cross-Sections, *Shock and Vibration* 18(4)(2011), 555-562.
- [7] Chen, W. Q., Zhang, C. L., 2009. Exact Analysis of Longitudinal Vibration of a Non-Uniform Piezoelectric Rod, *Second International Conference on*

- Smart Materials and Nanotechnology in Engineering, International Society for Optics and Photonics.
- [8] Zhang, C. L., Chen, W. Q., Li, J. Y. and Yang, J. Y., One-Dimensional Equations for Piezoelectromagnetic Beams and Magnetoelectric Effects in Fibers, *Smart Materials and Structures*, 18(9)(2009).
- [9] Nadal, C., François, P., 2009. Multimodal Electromechanical Model of Piezoelectric Transformers by Hamilton's Principle, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 56(11)(2009), 2530-2543.
- [10] Li, Y., Zhifei, S., 2009. Free Vibration of a Functionally Graded Piezoelectric Beam via State-Space Based Differential Quadrature, *Composite Structures*, 87(3)(2009), 257-264.
- [11] Yıldırım, K., Küçük, I., 2016. Active Piezoelectric Vibration Control of a Timoshenko Beam, *Journal of Franklin Institute*, 353(1)(2016), 95-107.
- [12] Küçük, I., Yıldırım, K., Sadek, İ., Adali, S., 2015. Optimal Control of a Beam with Kelvin-Voigt Damping Subject to Forced Vibrations Using a Piezoelectric Patch Actuator, *Journal of Vibration And Control*, 21(4)(2015), 701-713.
- [13] Yıldırım, K., 2016. Optimal Forced Vibrations Control of a Smart Plate, *Applied Mathematical Modelling*, 40(2016), 6424-6436.
- [14] Eker, M., Celebi, K., Yarimpabuç, D., 2015. Free Vibration Analysis of Nonuniform Piezoelectric Rod by Complementary Functions Method, *European Conference on Numerical Mathematics and Advanced Application*, Metu, Ankara, 14-18 September.
- [15] Yarimpabuç, D., Eker, M., Celebi, K., 2016. Free Vibration Analysis of Non-Uniform Piezoelectric Rod by Chebyshev Pseudospectral Method, 1<sup>st</sup> International Mediterranean Science and Engineering Congress, 26-28 October, Adana, 1563-1568.
- [16] Yarimpabuç, D., Eker, M., Celebi, K., 2018. Forced Vibration Analysis of Non-Uniform Piezoelectric Rod by Complementary Functions Method, *Karalimas Science and Engineering Journal*, 8(2)(2018), 496-504.
- [17] Trefethen, L.N., 2000. *Spectral Methods in Matlab*, SIAM, Philadelphia, PA.
- [18] Fornberg, B., 1996. *A Practical Guide to Pseudospectral Methods*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [19] Bazan, F.S.V., 2008. Chebyshev Pseudospectral Method for Computing Numerical Solution of Convection-Diffusion Equation, *Applied Mathematics and Computation*, 200(2008), 537-546.
- [20] Durbin, F., 1974. Numerical Inversion of Laplace Transforms: An Efficient Improvement to Dubner and Abrate's Method, *Computer Journal*, 17(1974), 371-376.
- [21] Temel, B., Yıldırım, S., Tütüncü, N. 2014. Elastic and viscoelastic Response of heterogeneous annular structures under Arbitrary Transient Pressure, *International Journal of Mechanical Sciences*, 89(2014), 78-83.
- [22] Gottlieb, D., 1981. The Stability of Pseudospectral-Chebyshev Methods, *Mathematics of Computation*, 36(153)(1981), 107-118.
- [23] Ding, H. J., Chen, W. Q. 2001. *Three Dimensional Problems of Piezoelectricity*, Nova Science Publishers, New York, USA.

## On the Hyperharmonic Function

Ayhan DİL

Akdeniz University, Faculty of Science, Department of Mathematics, 07050, Antalya, Turkey  
(ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1273-6704>)

(Alınış / Received: 15.08.2018, Kabul / Accepted: 06.01.2019, Online Yayınlanma / Published Online: 23.03.2019)

### Keywords

Harmonic numbers,  
Hyperharmonic numbers,  
Gamma function,  
Digamma function,  
Beta function

**Abstract:** In this paper we investigate some properties of the Hyperharmonic function defined by

$$H_z^{(w)} = \frac{(z)_w}{z\Gamma(w)} (\Psi(z+w) - \Psi(w)), \quad w, z+w \in \mathbb{C} \setminus (\mathbb{Z}^- \cup \{0\}).$$

Using this definition we introduce harmonic numbers with complex index and we give some series of these numbers. Also formulas for the calculation of harmonic numbers with rational index are obtained. For the simplicity of differentiation we reorganized representation of  $H_z^{(w)}$ . With the help of this new form we get higher order derivatives of the Hyperharmonic function more easily. Besides these, owing to the fact that the Hyperharmonic function is composed of some important functions, we interested in properties and connections of it. We get connections between the Hyperharmonic function and trigonometric functions. Infinite product representation, integral representation and differentiation identities of this function are also obtained.

## Hiperharmonik Fonksiyon Üzerine

### Anahtar Kelimeler

Harmonik sayılar,  
Hiperharmonik sayılar,  
Gamma fonksiyonu,  
Digamma fonksiyonu,  
Beta fonksiyonu

**Özet:** Bu çalışmada

$$H_z^{(w)} = \frac{(z)_w}{z\Gamma(w)} (\Psi(z+w) - \Psi(w)), \quad w, z+w \in \mathbb{C} \setminus (\mathbb{Z}^- \cup \{0\})$$

eşitliği ile tanımlanan Hiperharmonik fonksiyonun bazı özellikleri araştırılmıştır. Bu tanımdan faydalanarak karmaşık indeksli harmonik sayılar tanıtılmış ve bu sayıların bazı serileri verilmiştir. Ayrıca rasyonel indeksli harmonik sayıların hesaplanması için formüller elde edilmiştir.  $H_z^{(w)}$  fonksiyonunun türevlerinin daha kolay hesaplanabilmesi için, mevcut gösterim yeniden düzenlenmiştir. Bu yeni gösterim yardımıyla Hiperharmonik fonksiyonun yüksek mertebeli türevleri daha kolay hesaplanabilmektedir. Bunların yanı sıra, Hiperharmonik fonksiyonun özel bazı fonksiyonların birleşimi biçiminde ifade edilebildiği gerçeğinden hareketle, bazı özellikleri ve bağlantıları çalışılmıştır. Hiperharmonik fonksiyonun trigonometrik fonksiyonlarla ilişkileri elde edilmiş, sonsuz çarpım gösterimi, integral gösterimi ve bazı türevsel özdeşlikleri verilmiştir.

### 1. Introduction

The  $n$ -th harmonic number  $H_n$  is the  $n$ -th partial sum of the harmonic series:

$$H_n = \sum_{k=1}^n \frac{1}{k}.$$

J.H. Conway and R.K. Guy have defined the notion of hyperharmonic numbers ([4]).  $H_n^{(0)} := \frac{1}{n}$ , and for all  $r \in \mathbb{Z}^+$  let

$$H_n^{(r)} = \sum_{k=1}^n H_k^{(r-1)} \quad (1)$$

be the  $n$ -th hyperharmonic number of order  $r$ . These numbers can be expressed by the binomial coefficients and the ordinary harmonic numbers ([4, 11]):

$$H_n^{(r)} = \binom{n+r-1}{r-1} (H_{n+r-1} - H_{r-1}). \quad (2)$$

Hyperharmonic numbers have been studied in a variety of contexts, including in Euler sums (see [5–7, 11, 14, 15, 17–19]).

In [11] Mező and Dil generalized (2) as:

$$\binom{k+r-1}{k} H_n^{(k+r)} = \binom{n+k}{n} H_{n+k}^{(r)} - \binom{n+k+r-1}{n} H_k^{(r)}. \quad (3)$$

The representation in (2) is quite interesting because the right-hand side can be written in terms of continuous function instead of discrete variables  $n$  and  $r$ . Starting with this point, we define Hyperharmonic function  $H_z^{(w)}$  where  $w, z+w \in \mathbb{C} \setminus (\mathbb{Z}^- \cup \{0\})$ . In this paper we investigate properties of this function and introduce relations in which it plays particular roles.

## 2. Material and Method

The polygamma function of order  $m$  is a meromorphic function on  $\mathbb{C}$  and defined as the  $(m+1)$ -th derivative of the logarithm of the usual gamma function  $\Gamma(z)$  as:

$$\Psi^{(m)}(z) := \frac{d^m}{dz^m} \Psi(z) = \frac{d^{m+1}}{dz^{m+1}} \ln \Gamma(z).$$

Here

$$\Psi^{(0)}(z) = \Psi(z) = \frac{\Gamma'(z)}{\Gamma(z)}$$

where  $\Psi(z)$  is the digamma function. For all  $m \geq 0$  the function  $\Psi^{(m)}(z)$  is holomorphic on  $\mathbb{C} \setminus (\mathbb{Z}^- \cup \{0\})$  ([13]). With the help of  $\Gamma(z)$  and  $\Psi(z)$  we can state the hyperharmonic number of order  $r$  as:

$$H_n^{(r)} = \frac{(n)_r}{n\Gamma(r)} (\Psi(n+r) - \Psi(r)) \quad (4)$$

where  $(x)_n = x(x+1)\cdots(x+n-1) = \frac{\Gamma(x+n)}{\Gamma(x)}$  is the Pochhammer symbol.

Considering (4), Mező [10] defined the Hyperharmonic function as:

$$H_z^{(w)} = \frac{(z)_w}{z\Gamma(w)} (\Psi(z+w) - \Psi(w)), \quad (5)$$

where  $w, z+w \in \mathbb{C} \setminus (\mathbb{Z}^- \cup \{0\})$ . Using this definition, Mező computed the first derivatives of  $H_z^{(w)}$  respect to variables  $z$  and  $w$ . For the simplicity of differentiation we reorganized representation of  $H_z^{(w)}$ . Using this new form we get the higher derivatives of  $H_z^{(w)}$  more easily. We also consider the special case of  $H_z^{(w)}$  as  $H_z^{(1)} := H_z$ , and we call  $H_z$  as a harmonic numbers with complex index. Some representations of  $H_z$  in terms of infinite series are given. Also formulas for the calculation of harmonic numbers with rational index are obtained. Besides these, owing to the fact that the Hyperharmonic function is a compose of some important functions, we interested in investigating properties and connections of it.

## 3. Results

### 3.1. Harmonic numbers with complex index

In this section we consider two special cases of the Hyperharmonic function  $H_z^{(w)}$ ; these are  $z = 1$  and  $w = 1$ . The

case  $z = 1$  is not interesting because we get

$$H_1^{(w)} := H^{(w)} = \frac{(1)_w}{\Gamma(w)} (\Psi(1+w) - \Psi(w)).$$

By considering the well-known identity ([16])

$$\Psi(1+w) = \Psi(w) + \frac{1}{w} \quad (6)$$

it turns out that

$$H^{(w)} = \frac{(1)_w}{w\Gamma(w)} = 1 \quad (7)$$

for any  $w \in \mathbb{C} \setminus (\mathbb{Z}^- \cup \{0\})$ .

On the other hand setting  $w = 1$  in (5) we have

$$H_z^{(1)} := H_z = \frac{(z)_1}{z\Gamma(1)} (\Psi(z+1) - \Psi(1))$$

from which it follows that

$$H_z = \Psi(z+1) + \gamma, \quad (8)$$

where  $\gamma$  is the Euler-Mascheroni constant. So we extended the definition of harmonic numbers; more precisely we have "complex indexed harmonic numbers".

With the help of (8) and the following fractional values of  $\Psi$  function (see [1])

$$\Psi\left(\frac{1}{2}\right) = -\gamma - 2\ln 2$$

and

$$\Psi\left(\frac{1}{2} \pm n\right) = -\gamma - 2\ln 2 + 2 \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{2k+1}$$

we get "fractional indexed harmonic numbers":

$$H_{-\frac{1}{2}} = -2\ln 2$$

and for  $n \geq 1$

$$H_{-\frac{1}{2} \pm n} = -2\ln 2 + 2 \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{2k+1}.$$

For instance:

$$H_{\frac{1}{2}} = H_{-\frac{3}{2}} = -2\ln 2 + 2,$$

$$H_{\frac{3}{2}} = H_{-\frac{5}{2}} = -2\ln 2 + \frac{8}{3}.$$

Actually we can give a more general result than above. Let  $p$  and  $q$  be positive integers such that  $0 < p < q$ , Gauss proved the following equation,

$$\Psi\left(\frac{p}{q}\right) = -\gamma - \frac{\pi}{2} \cot \frac{\pi p}{q} - \ln q + 2 \sum_{n=1}^{\lfloor \frac{q}{2} \rfloor} \cos \frac{2\pi n p}{q} \ln \left(2 \sin \frac{\pi n}{q}\right). \quad (9)$$

Here  $\lfloor \frac{q}{2} \rfloor$  denotes the greatest integer in  $\frac{q}{2}$ . In the light of this equation one can calculate harmonic numbers with negative rational index as:

$$H_{\frac{p}{q}-1} = -\frac{\pi}{2} \cot \frac{\pi p}{q} - \ln q + 2 \sum_{n=1}^{\lfloor \frac{q}{2} \rfloor} \cos \frac{2\pi n p}{q} \ln \left(2 \sin \frac{\pi n}{q}\right),$$

where  $-1 < \frac{p}{q} - 1 < 0$ . For instance

$$H_{-\frac{1}{3}} = -\frac{\pi\sqrt{3}}{6} - \frac{3}{2}\ln 3.$$

### 3.1.1. Some series expansions of $H_z$

Equation (8) is important because using series expansions of the digamma function  $\Psi(z)$  we get series expansions for  $H_z$ .

For the function  $\Psi(z+1)$  let us consider the following well-known series expansion,

$$\Psi(z+1) = -\gamma + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{z}{k(k+z)}, \quad z \in \mathbb{C} \setminus \mathbb{Z}^-,$$

(see [1]) and Taylor series

$$\Psi(z+1) = -\gamma - \sum_{k=1}^{\infty} \zeta(k+1)(-z)^k, \quad |z| < 1,$$

([2]) and Newton series

$$\Psi(s+1) = -\gamma - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k} \binom{s}{k}.$$

Then immediately we have

$$H_z = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{z}{k(k+z)}, \quad z \in \mathbb{C} \setminus \mathbb{Z}^-, \quad (10)$$

$$H_z = -\sum_{k=1}^{\infty} \zeta(k+1)(-z)^k, \quad |z| < 1,$$

and

$$H_s = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1}}{k} \binom{s}{k}$$

respectively.

### 3.2. Differentiation identities of the Hyperharmonic function

In [10] Mezđ gave the first derivative of  $H_z^{(w)}$  with respect to the variables  $w$  and  $z$ . In this section we consider the higher order derivatives of  $H_z^{(w)}$ .

**Derivatives with respect to the variable  $w$**  To obtain higher order derivatives we write another representation of  $H_z^{(w)}$ . Since

$$(z)_w = \frac{\Gamma(z+w)}{\Gamma(z)} \quad (11)$$

equation (5) yields

$$H_z^{(w)} = \frac{\Gamma(z+w)}{z\Gamma(z)\Gamma(w)} (\Psi(z+w) - \Psi(w)) \quad (12)$$

which can equally well be written

$$H_z^{(w)} = \frac{(w)_z}{\Gamma(z+1)} (\Psi(z+w) - \Psi(w)). \quad (13)$$

Equation (13) is more suitable form of  $H_z^{(w)}$  to obtain derivatives with respect to  $w$ .

Let us note that

$$\frac{d}{dw} (w)_z = (w)_z (\Psi(z+w) - \Psi(w)). \quad (14)$$

In the light of (14) we have

$$\frac{d^{n+1}}{dw^{n+1}} (w)_z = \Gamma(z+1) \frac{d^n}{dw^n} H_z^{(w)} \quad (15)$$

Therefore to obtain the higher order derivatives of  $H_z^{(w)}$  we can consider the higher order derivatives of  $(w)_z$ . For the sake of simplicity let us denote

$$\Phi(z, w) = \Psi(z+w) - \Psi(w).$$

As an example here we give the first few higher order derivatives of  $(w)_z$  using the abbreviations  $\Phi(z, w) = \Phi_w$ ;

$$\begin{aligned} \frac{d}{dw} (w)_z &= (w)_z \Phi_w \\ \frac{d^2}{dw^2} (w)_z &= (w)_z \left\{ \Phi_w^2 + \Phi_w^{(l)} \right\} \\ \frac{d^3}{dw^3} (w)_z &= (w)_z \left\{ \Phi_w^3 + 3\Phi_w^{(l)} \Phi_w + \Phi_w^{(ll)} \right\} \\ \frac{d^4}{dw^4} (w)_z &= (w)_z \left\{ \Phi_w^4 + 6\Phi_w^2 \Phi_w^{(l)} + 4\Phi_w \Phi_w^{(ll)} \right. \\ &\quad \left. + \Phi_w^{(lll)} + 3 \left( \Phi_w^{(l)} \right)^2 \right\} \\ \frac{d^5}{dw^5} (w)_z &= (w)_z \left\{ \Phi_w^5 + 10\Phi_w^3 \Phi_w^{(l)} + 10\Phi_w^2 \Phi_w^{(ll)} \right. \\ &\quad \left. + 5\Phi_w \Phi_w^{(lll)} + \Phi_w^{(lv)} + 10\Phi_w' \Phi_w'' + 15\Phi_w (\Phi_w')^2 \right\} \\ \frac{d^6}{dw^6} (w)_z &= (w)_z \left\{ \Phi_w^6 + 15\Phi_w^4 \Phi_w^{(l)} + 20\Phi_w^3 \Phi_w^{(ll)} \right. \\ &\quad \left. + 15\Phi_w^2 \Phi_w^{(lll)} + 6\Phi_w \Phi_w^{(lv)} + \Phi_w^{(lv)} \right. \\ &\quad \left. + 45\Phi_w^2 \left( \Phi_w^{(l)} \right)^2 + 60\Phi_w \Phi_w^{(l)} \Phi_w^{(ll)} + 15\Phi_w^{(l)} \Phi_w^{(lll)} \right. \\ &\quad \left. + 15 \left( \Phi_w' \right)^3 + 10 \left( \Phi_w^{(ll)} \right)^2 \right\} \\ &\vdots \end{aligned}$$

Using these information, for instance we have

$$\begin{aligned} \frac{d}{dw} H_z^{(w)} &= H_z^{(w)} (\Psi(z+w) - \Psi(w)) \\ &\quad + \frac{(z)_w}{z\Gamma(w)} (\Psi'(z+w) - \Psi'(w)). \quad (16) \end{aligned}$$

*Remark 3.1.*  $\frac{d}{dz} H_z^{(w)}$  is also given in [10] but there is a misprint.

**Derivatives with respect to the variable  $z$**  Let us make a preparation to get the higher order derivatives of  $H_z^{(w)}$  with respect to variable  $z$ .

Since

$$\frac{(z)_w}{z} = (z+1)_{w-1}$$

we have

$$H_z^{(w)} = \frac{(z+1)_{w-1}}{\Gamma(w)} (\Psi(z+w) - \Psi(w)). \quad (17)$$

Now we are ready to obtain the derivatives of  $H_z^{(w)}$  with respect to  $z$ . For instance we have

$$\frac{d}{dz} H_z^{(w)} = \frac{1}{\Gamma(w)} \frac{d}{dz} [(z+1)_{w-1} (\Psi(z+w) - \Psi(w))]. \quad (18)$$

Also we know that

$$\frac{d}{dw} (w)_z = (w)_z \Phi_w$$

so we get

$$\begin{aligned} \frac{d}{dz} H_z^{(w)} &= H_z^{(w)} (\Psi(z+w) - \Psi(z+1)) \\ &+ \frac{(z)_w}{z\Gamma(w)} \Psi'(z+w). \end{aligned} \quad (19)$$

*Remark 3.2.* Equation (19) also given in [10]. Considering (17) together with the derivatives of  $(w)_z$  given before we obtain the higher order derivatives of  $H_z^{(w)}$  more easily.

### 3.3. Relationship with some important special functions

Having regard to importance of the trigonometric functions we firstly investigate connections between the trigonometric functions and the Hyperharmonic function. To this aim we need to remind some well-known facts about the Gamma and the Digamma functions. One of facts is the Legendre's duplication formula for the gamma function ([16])

$$\Gamma(2z) = \pi^{-\frac{1}{2}} 2^{2z-1} \Gamma(z) \Gamma\left(z + \frac{1}{2}\right). \quad (20)$$

Also the Digamma function satisfies the following reflection formula ([2]),

$$\Psi(z) - \Psi(1-z) = -\pi \cot \pi z. \quad (21)$$

The following lemma shows a connection with the trigonometric functions.

**Proposition 3.3.** *For the non-integer values of  $z$  we have,*

$$H_{2z-1}^{(1-z)} = \frac{-\pi^{\frac{3}{2}} \cot \pi z}{2^{2z-1} \Gamma\left(z + \frac{1}{2}\right) \Gamma(1-z)}. \quad (22)$$

*Proof.* Replacing in equation (12)  $w$  by  $1-z$  and  $z$  by  $2z-1$ , we obtain

$$H_{2z-1}^{(1-z)} = \frac{\Gamma(z)}{\Gamma(2z)\Gamma(1-z)} (\Psi(z) - \Psi(1-z))$$

which combines with the functional relation (21) to give

$$H_{2z-1}^{(1-z)} = \frac{\Gamma(z)}{\Gamma(2z)\Gamma(1-z)} (-\pi \cot \pi z).$$

Using the Legendre's duplication formula (20) for  $\Gamma(2z)$  we obtain desired equation.  $\square$

*Remark 3.4.* As a result of Proposition 3.3, it can be seen easily that  $H_{2n}^{(\frac{1}{2}-n)} = 0$  for all positive integer  $n$ .

We have one more relation with the trigonometric functions. For this we remind the following reflection formula for the gamma function ([2]):

$$\Gamma(z) \Gamma(1-z) = \frac{\pi}{\sin \pi z}. \quad (23)$$

**Proposition 3.5.** *For the non-integer values of  $z$  we have,*

$$H_z^{(1-z)} = -\frac{\sin \pi z}{\pi z} (\Psi(z) + \pi \cot \pi z + \gamma).$$

*Proof.* In (12) replacing  $w$  with  $1-z$  we have

$$H_z^{(1-z)} = \frac{1}{z\Gamma(z)\Gamma(1-z)} (-\gamma - \Psi(1-z)). \quad (24)$$

Here using equation (21) and (23) we complete proof.  $\square$  Now as a result we give an infinite product representation of the Hyperharmonic function, for this recall that :

$$\frac{1}{\Gamma(z)\Gamma(1-z)} = z \prod_{n=1}^{\infty} \left(1 - \frac{z^2}{n^2}\right) \quad (25)$$

(see [3]).

**Corollary 3.6.** *We have the infinite product*

$$H_z^{(1-z)} = -(\Psi(z) + \pi \cot \pi z + \gamma) \prod_{n=1}^{\infty} \left(1 - \frac{z^2}{n^2}\right). \quad (26)$$

As an application of this formula let us consider the case when  $z$  approaches to an  $m \in \mathbb{Z}^+$ . Then we write

$$\begin{aligned} H_m^{(1-m)} &= \prod_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\infty} \left(1 - \frac{m^2}{n^2}\right) \\ &\times \lim_{z \rightarrow m} -(\Psi(z) + \pi \cot \pi z + \gamma) \left(1 - \frac{z^2}{m^2}\right). \\ &= \frac{2}{m} \prod_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{\infty} \left(1 - \frac{m^2}{n^2}\right). \end{aligned}$$

For example we have

$$H_1^{(0)} = 1 = 2 \prod_{n=2}^{\infty} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

and

$$H_2^{(-1)} = -3 \prod_{n=3}^{\infty} \left(1 - \frac{4}{n^2}\right).$$

**Proposition 3.7.** *The following relation holds:*

$$H_{\frac{1}{q}}^{(\frac{p-1}{q})} = \frac{q^2 \Gamma\left(\frac{p}{q}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{q}\right) \Gamma\left(\frac{p-1}{q}\right)} \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(p+kq)^n - 1}$$

where  $p, q \notin \mathbb{Z}$  and  $\frac{p}{q} \notin \mathbb{Z}^-$ .

*Proof.* Replacing in equation (12)  $z$  by  $\frac{1}{q}$  and  $w$  by  $\frac{p-1}{q}$ , we obtain

$$H_{\frac{1}{q}}^{(\frac{p-1}{q})} = \frac{\Gamma\left(\frac{p}{q}\right)}{\frac{1}{q} \Gamma\left(\frac{1}{q}\right) \Gamma\left(\frac{p-1}{q}\right)} \left(\Psi\left(\frac{p}{q}\right) - \Psi\left(\frac{p-1}{q}\right)\right).$$

Also we remind the following known equation for the Digamma function ([8])

$$\Psi\left(\frac{p}{q}\right) - \Psi\left(\frac{p-1}{q}\right) = q \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(p+kq)^n - 1}$$

In view of these two equations we get the desired result.  $\square$

We continue this section to obtaining relations of  $H_z^{(w)}$  with two other important functions;  $B(z, w)$  and  $\beta(z)$ . The function  $B(z, w)$  is usual Beta function which has the following connections with the Gamma function:

$$B(z, w) = \frac{\Gamma(z)\Gamma(w)}{\Gamma(z+w)}. \quad (27)$$

And the function  $\beta(z)$  is defined as ([8]):

$$\beta(z) = \Psi\left(\frac{z+1}{2}\right) - \Psi\left(\frac{z}{2}\right). \quad (28)$$

It is time to present the Hyperharmonic function in terms of  $\beta$  and  $\Gamma$  functions.

**Proposition 3.8.** *We have*

$$H_{\frac{1}{2}}^{(z)} = 2^{2-2z} \frac{\Gamma(2z)}{\Gamma^2(z)} \beta(2z).$$

*Proof.* Replacing in equation (12)  $z$  by  $\frac{1}{2}$  and  $w$  by  $\frac{z}{2}$ , and considering (28) we obtain

$$H_{\frac{1}{2}}^{(\frac{z}{2})} = \frac{\Gamma(\frac{z+1}{2})}{\Gamma(\frac{1}{2})\Gamma(\frac{z}{2})} 2\beta(z). \quad (29)$$

Besides, from the Legendre's duplication formula (20) we have

$$\Gamma\left(\frac{z+1}{2}\right) = 2^{1-z} \sqrt{\pi} \frac{\Gamma(z)}{\Gamma(\frac{z}{2})}$$

which combines with (29) to give desired result.  $\square$

The following proposition shows the relation between the Hyperharmonic function with the digamma and the Beta function.

**Proposition 3.9.** *We have*

$$H_z^{(w)} = \frac{(\Psi(z+w) - \Psi(w))}{zB(z, w)}. \quad (30)$$

*Proof.* Combining (27) and (12) we have (30).  $\square$

Equation (30) connects the Hyperharmonic function with the well-known the Beta function. This equation enables us to investigate some properties of the Hyperharmonic function considering properties of the Digamma and the Beta function. Also equation (30) is convenient to obtain special values of the Hyperharmonic function using information about  $\Psi(z)$  and  $B(z, w)$  functions. For example,

$$H_{\frac{1}{2}}^{(\frac{1}{2})} = \frac{4 \ln 2}{\pi},$$

$$H_{\frac{2}{3}}^{(\frac{1}{3})} = \frac{27 \ln 3}{8\pi\sqrt{3}} + \frac{3}{8},$$

and

$$H_{\frac{3}{4}}^{(\frac{1}{4})} = \frac{4 \ln 2}{\pi\sqrt{2}} + \frac{2}{3\sqrt{2}}.$$

Using equation (30) we obtain more general relation than these special values:

**Corollary 3.10.** *We have*

$$H_{1-z}^{(z)} = \frac{\sin \pi z}{\pi(z-1)} H_{z-1}.$$

*Proof.* Replacing  $z$  by  $1-z$  and  $w$  by  $z$  in (30), we obtain

$$H_{1-z}^{(z)} = \frac{\Psi(z) + \gamma}{(z-1)B(z, 1-z)}.$$

Remembering,  $B(z, 1-z) = \frac{\pi}{\sin \pi z}$  ([1]) and also with the help of equation (8) we get desired result.  $\square$

Yet another benefits of the Proposition 3.9 is obtaining some relations about the Hyperharmonic function considering properties of  $B(z, w)$  function. The following proposition shows a symmetry between  $H_z^{(w)}$  and  $H_w^{(z)}$ .

**Corollary 3.11.** *The Hyperharmonic function has the following symmetric relation:*

$$\frac{H_z^{(w)}}{H_w^{(z)}} = \frac{w}{z} \left( \frac{\Psi(z+w) - \Psi(w)}{\Psi(z+w) - \Psi(z)} \right). \quad (31)$$

*Proof.* (30) can be written as

$$B(z, w) = \frac{(\Psi(z+w) - \Psi(w))}{zH_z^{(w)}}. \quad (32)$$

Also we know from (27) that  $B(z, w)$  is a symmetric function i.e.

$$B(z, w) = B(w, z). \quad (33)$$

In view of equation (32), equation (33) shows validity of (31).  $\square$

In the paper [11] authors gave a recurrence relation for the Hyperharmonic function. Here we obtain more general recurrence than (3).

**Corollary 3.12.** *The following recurrence holds for  $H_z^{(w)}$*

$$H_z^{(w+1)} = H_z^{(w)} \frac{(z+w)(\Psi(z+w+1) - \Psi(w+1))}{w(\Psi(z+w) - \Psi(w))}. \quad (34)$$

*Proof.* Under the condition  $\text{Re}(z) > 0$  and  $\text{Re}(w) > 0$  the Beta function has the following recurrence:

$$B(z, w+1) = \frac{w}{z+w} B(z, w)$$

which combines with (32) to give the desired result.  $\square$

At the end of this section we give a relation between  $H_z^{(w)}$  and the higher order Bernoulli polynomials given by the identity:

$$\frac{t^n e^{xt}}{(e^t - 1)^n} = \sum_{v=0}^{\infty} B_v^{(n)}(x) \frac{t^v}{v!}.$$

Note that higher order Bernoulli polynomials satisfy the following relation (see [12]):

$$B_v^{(m+1)}(x) = \frac{v!}{m!} \frac{d^{m-v}}{dx^{m-v}} [(x-1)(x-2)\dots(x-m)]. \quad (35)$$

**Proposition 3.13.** *Let  $m$  and  $v$  be positive integers such that  $m > v + 1$ , then we have*

$$B_v^{(m+1)}(1-x) = (-1)^{m+1} v! \frac{d^{m-v-1}}{dx^{m-v-1}} H_m^{(x)}.$$

*Proof.* Considering (35) we see

$$B_v^{(m+1)}(1-x) = (-1)^{m+1} \frac{v!}{m!} \frac{d^{m-v}}{dx^{m-v}}(x)_m.$$

In the light of (15) we get the result.  $\square$

### 3.4. Integral representations of the Hyperharmonic function

For the real variable  $x$ , considering the series representation (10), we can state  $\gamma$  by a definite integral of  $H_x$  as

$$\int_0^1 H_x dx = \gamma$$

and also more generally

$$\int_0^n H_x dx = n\gamma + \ln(n!).$$

Besides, in the light of (8) and the following well-known equation (see [8])

$$\int_0^1 \frac{1-x^a}{1-x} x^{b-1} dx = \Psi(a+b) - \Psi(b) \text{ where } a, b \in \mathbb{R}$$

we get the following integral representation of  $H_a^{(b)}$  as

$$H_a^{(b)} = \frac{(a)_b}{a\Gamma(b)} \int_0^1 \frac{1-x^a}{1-x} x^{b-1} dx.$$

As a result of this we have

$$H_a = \int_0^1 \frac{1-x^a}{1-x} dx.$$

In [9] authors proved that

$$\int_0^1 x^{b-1} (1-x)^{a-1} \ln x dx = \frac{\Gamma(a)\Gamma(b)}{\Gamma(a+b)} (\Psi(b) - \Psi(a+b))$$

where  $a, b \in \mathbb{R}^+$ . Using this equation with (12) we have

$$H_a^{(b)} = -\frac{1}{a} \left( \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \right)^2 \int_0^1 x^{b-1} (1-x)^{a-1} \ln x dx.$$

Setting  $b = 1$  we get

$$H_a = -a \int_0^1 (1-x)^{a-1} \ln x dx.$$

Now we give another integral relation for  $H_n^{(y)}$ :

**Proposition 3.14.** *Let  $n \in \mathbb{Z}^+$  and  $y \in \mathbb{R} \setminus (\mathbb{Z}^- \cup \{0\})$ . Then*

$$\int H_n^{(y)} dy = \frac{(y)_n}{n!}$$

*Proof.* Considering (6) we write

$$\Psi(y+n) - \Psi(y) = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{y+k}$$

which combines with (13) to give

$$H_n^{(y)} = \frac{(y)_n}{n!} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{y+k}.$$

The above equation can be written as

$$H_n^{(y)} = \frac{d}{dy} \frac{(y)_n}{n!}$$

Hence the formula has been established.  $\square$

The Digamma function has the following integral representation ([1]):

$$\Psi(z) = -\gamma + \int_0^\infty \frac{e^{-t} - e^{-zt}}{1 - e^{-t}} dt \quad (36)$$

Owing to this representation of the  $\Psi$  we have the following result.

**Proposition 3.15.** *We have*

$$H_z^{(w)} = \frac{(w)_z}{\Gamma(z+1)} \int_0^\infty \frac{e^{-wt}(1 - e^{-zt})}{1 - e^{-t}} dt. \quad (37)$$

*Proof.* Let us write the integral representations of  $\Psi(z+w)$  and  $\Psi(w)$  via equation (36). Hence we get

$$\Psi(z+w) - \Psi(w) = \int_0^\infty \frac{e^{-wt}(1 - e^{-zt})}{1 - e^{-t}} dt$$

which implies (37) after multiplying both sides of this equation by  $\frac{(w)_z}{\Gamma(z+1)}$ .  $\square$

## 4. Discussion and Conclusion

So far we present some formulas to calculate special values of  $H_z^{(w)}$ . Actually more general results can be obtained with the help of (9). In the light of (9) and (13) one can calculate all rational upper and lower indexed hyperharmonic numbers as:

$$H_{\frac{p_1}{q_1}}^{(\frac{p_2}{q_2})} = \frac{\left(\frac{p_2}{q_2}\right)_z}{\Gamma\left(\frac{p_1}{q_1} + 1\right)} \left( \Psi\left(\frac{p_1}{q_1} + \frac{p_2}{q_2}\right) - \Psi\left(\frac{p_2}{q_2}\right) \right).$$

In our work we present a way to obtain higher derivatives of the Hyperharmonic function with respect to the variables  $z$  and  $w$ . Closed formulas for these derivatives are open problems; they might be quite complicated.

## Acknowledgment

We thank the reviewers for their valuable comments. The research was supported by the Akdeniz University Scientific Research Project Administration (FBA-2018-3974).

## References

- [1] Abramowitz, M., Stegun, I. 1972. Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, 9th printing. Dover, New York, 1046s.
- [2] Andrews, G. E., Askey, R., Roy, R. 2000. Special Functions, Cambridge University Press, 682s.
- [3] Bak, J., Newman, D. J. 1997. Complex Analysis, Springer, 328s.



- [4] Conway, J. H., Guy, R. K. 1996. *The Book of Numbers*, New York, Springer-Verlag, 310s.
- [5] Dil, A., Mező, I., Cenkci, M. 2017. Evaluation of Euler-like sums via Hurwitz zeta values. *Turk. J. Math.*, 41(6), 1640-1655.
- [6] Dil A, Boyadzhiev KN. 2015. Euler sums of hyperharmonic numbers. *J. Number Theory*, 147: 490-498.
- [7] Gaboury S. 2014. Further Expansion and Summation Formulas Involving the Hyperharmonic Function. *Commun. Korean Math. Soc.*, 29 (2): 269-83.
- [8] Gradshteyn, I. S., Ryzhik, I. M. 2007. *Table of Integrals, Series, and Products*, Elsevier Academic Press, USA, 1163s.
- [9] Medina, L. A., Moll, V. H. 2009. The Integrals in Gradshteyn and Ryzhik. Part 10: The Digamma Function. *SCIENTIA, Series A: Mathematical Sciences*, Vol. 17, 45–66.
- [10] Mező, I. 2009. Analytic Extension of Hyperharmonic Numbers. *Online Journal of Analytic Combinatorics*, Issue 4 (2009) .
- [11] Mező, I., Dil, A. 2010. Hyperharmonic Series Involving Hurwitz Zeta Function. *J. Number Theory*, 130, 2 : 360-369.
- [12] Milne-Thomson, L. M. 1965. *The Calculus of Finite Differences*. MacMillan & Co., 558s.
- [13] Rainville, E. D. 1960. *Special Functions*. MacMillan, New York, 365s.
- [14] Sofo, A., Srivastava, H. M. 2015. A Family of Shifted Harmonic Sums. *Ramanujan J.* 37, 89-108.
- [15] Sofo, A. 2014. Shifted Harmonic Sums of Order Two. *Commun. Korean Math. Soc.* 29 (2), 239-255.
- [16] Wang, Z. X., Guo, D. R. 1989. *Special Functions*, World Scientific, 720s.
- [17] Xu, C. 2018. Euler Sums of Generalized Hyperharmonic Numbers. *J. Korean Math. Soc.* 55, No. 5, 1207-1220.
- [18] Xu, C. 2018. Computation and Theory of Euler Sums of Generalized Hyperharmonic Numbers. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. I* 356, 243-252.
- [19] Xu, C. 2017. Identities for the Shifted Harmonic Numbers and Binomial Coefficients. *Filomat* 31:19, 6071-6086.