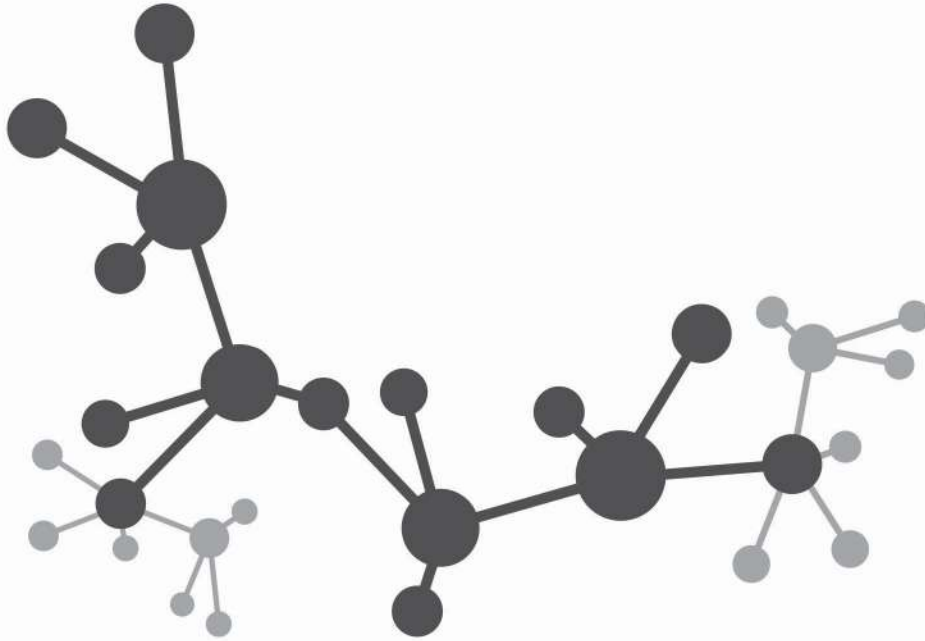




FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Journal of Natural and Applied Sciences

aralık



Cilt: 24 Sayı: 03 Volume: 24 Issue: 03 e-ISSN: 1308 6529

2020
ISPARTA



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Cilt 24, Sayı 3, Yıl 2020

SÜLEYMAN DEMİREL UNIVERSITY

Journal of Natural and Applied Sciences

Volume 24, Issue 3, Year 2020

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

Zehra ÜSTÜN, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Hasan KÖSEOĞLU, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
(Enstitü Müdür Yardımcısı)
Banu ESENCAN TÜRKASLAN,
Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
(Enstitü Müdür Yardımcısı)
Yasemin COŞKUN, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi

Ayşenur TUNCUK, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Cengiz GAZELOĞLU, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Ekinhan ERİŞKİN, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Faruk Süleyman BERBER,
Öğr. Gör. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Hakan OĞUZ, Doç. Dr.
Kahramanmaraş Sütçü İmam
Üniversitesi

Oğuz YAYLA, Doç. Dr.
Hacettepe Üniversitesi
Rağbet Ezgi DURAN, Doç. Dr.
Süleyman Demirel Üniversitesi
Sedat AKLEYLEK, Doç. Dr.
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Tunhan DEMİRCİ, Dr. Öğr. Üyesi
Süleyman Demirel Üniversitesi
Yalçın ERZURUMLU, Dr. Öğr. Üyesi
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 NURİYEV, Prof. Dr.
Ege Üniversitesi

TEKNİK EDİTÖRLER

Niyazi Erdem DELİKANLI,
Arş. Gör. Dr.
Bartın Üniversitesi
Sercan ÖNDER, Arş. Gör.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.

Yaşar Kemal ERDOĞAN
Arş. Gör.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniv.

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

Zehra ÜSTÜN, Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Hasan KÖSEOĞLU, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
(Associate Director of the Institute)
Banu ESENCAN TÜRKASLAN,
Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
(Associate Director of the Institute)
Yasemin COŞKUN, Assoc.Prof.Dr.
Süleyman Demirel University

Ayşenur TUNCUK, Assoc. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Cengiz GAZELOĞLU, Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Ekinhan ERİŞKİN, Asst. Prof. Dr.
Süleyman Demirel University
Faruk Süleyman BERBER,
Teach.Asst.Dr.
Süleyman Demirel University
Hakan OĞUZ, Assoc.Prof.Dr.
Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Oğuz YAYLA, Assoc. Prof. Dr
Hacettepe University
Rağbet Ezgi DURAN, Assoc.Prof.Dr.
Süleyman Demirel University
Sedat AKLEYLEK, Assoc. Prof. Dr
Ondokuz Mayıs University
Tunhan DEMİRCİ, Asst. Prof. Dr
Süleyman Demirel University
Yalçın ERZURUMLU, Asst. 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

Niyazi Erdem DELİKANLI,
Res. Asst. Dr. Bartın University
Sercan ÖNDER, Res. Asst.
Isparta University of Applied Sciences

Yaşar Kemal ERDOĞAN, Res. Asst.
Isparta University of Applied Sciences

OFFICE WORK

Uğur KARATEPE, Staff
Süleyman Demirel University

COVER DESIGN

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

Ferula (<i>Ferula gummosa</i> Boiss.) Meyvelerinde Uçucu ve Sabit Yağ Verimleri ile Bileşenlerinin Belirlenmesi.....	526-532
<i>The Determination of Essential and Fatty Oil Yields and Components of Ferula (Ferula gummosa Boiss.) Fruits</i>	
Murat MUTLUCAN, Sabri ERBAŞ, Ümit ERDOĞAN, Arif ŞANLI	
E3 te Verilen Bir Eğri Boyunca Sabit Ortalama Eğrilikli Yüzeylerin Oluşturulması.....	533-538
<i>Comparative Analysis of Vernacular and Contemporary Architecture Examples in the Context of Construction of Surfaces with Constant Mean Curvature along a Curve in E3</i>	
Hüsnü COŞANOĞLU, Ergin BAYRAM	
Bir Gıda Fabrikasında Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi.....	539-552
<i>Improvement of Energy Efficiency in a Food Factory</i>	
Selmin ENER RÜŞEN, Musab Selahaddin ÇEVİK	
Farklı Konsantrasyonlarda <i>Spirulina platensis</i> Eklenmiş Yoğurtların Kimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri.....	553-565
<i>Physical and Chemical Properties of Spirulina platensis Added Yoghurts in Different Concentrations</i>	
Sümeysra AYDEMİR, Zübeyde ÖNER	
Mineralogical and Geochemical Properties of Clays to Associated with the Yarıkkaya (Yalvaç-Isparta) Coal Deposits.....	566-583
<i>Yarıkkaya (Yalvaç-Isparta) Kömür Yatakları ile İlişkili Killerin Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri</i>	
Oya CENGİZ, Ayhan Sinan UZUN, Maksat BEKİYEV	
The Effect of Fouling on the Baffle Spacing of a Shell and Tube Heat Exchanger.....	584-592
<i>Kirlenmenin Bir Gövde-Boru Isı Eşanjörünün Şaşırtma Levhası Aralığı Üzerindeki Etkisi</i>	
Havva CEYLAN, Buket ÇINAR GELİR	
High Frequency RFID Module Design and Performance Comparison between Different Antenna Geometries for TV Applications.....	593-603
<i>TV Uygulaması için Yüksek Frekans RFID Modüllerinin Farklı Şekil ve Geometrideki Antenler ile Performans Karşılaştırılması</i>	
Heba YÜKSEL	
İnsan Vücudunda Biyo-malzeme Olarak Kullanılan Titanyum-Zirkonyum Alaşımlarının 30° Alt Çene Hareketli Çiğneme Test Deneylerinde Aşınma Davranışlarının İncelenmesi.....	604-608
<i>Investigation of Wear Behavior of Titanium-Zirconium Alloys Used as Biomaterials in Human Body in 30° Lower Jaw Motion Chewing Simulation Test Experiment</i>	
Efe Çetin YILMAZ	
Geleneksel Diyarbakır Örgü Peynirinin Tekstürel Özellikleri ve Mikrobiyal Florasının Depolama Periyodu Boyunca Değişimi.....	609-617
<i>Evaluation of the Textural Properties and Microbial Flora of Traditional Diyarbakır Örgü Cheese During the Ripening Period</i>	
Abdulkerim HATİPOĞLU, Şerafettin ÇELİK	
D-Limonen ve Nanoselüloz İçeren Aktif Kitosan/Polikaprolakton İki Katmanlı Filmler.....	618-625
<i>Active Chitosan/Polycaprolactone Bilayer Films Including D-Limonene and Nanocellulose</i>	
Ece SÖĞÜT, Atif Can SEYDİM	
Kızılırmak Havzası'nda Sıcaklık Değerlerinin Trend Analizi.....	626-634
<i>Trend Analysis of Temperature Values in Kızılırmak Basin</i>	
Özlem TERZİ, Ahmet İLKER	
Süreç Ortalaması için Tek Taraflı Medyan Kalite Kontrol Kartı.....	635-646
<i>One Sided Median Quality Control Chart for Process Mean</i>	
Nejla TURHAN ÖZKAYA, Sevgi YURT ÖNCEL	
Kentsel Estetiğin Muratpaşa İlçesi Örneğinde İrdelenmesi.....	647-658
<i>Urban Aesthetic Research in Muratpasa District</i>	
Ayşe Gülnur HAMMALOĞLU, Murat AKTEN	
Nanotel Yapılı Kalem Grafit Elektrotlar Kullanılarak Prometazinin Voltametrik Tayini.....	659-668
<i>Voltammetric Determination of Promethazine Using Pencil Graphite Electrodes with Nanowire Structured</i>	
Tuğba SARDOHAN KÖSEĞLU, Aybüke DÜRGÜT	

- Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması ile Elde Edilen Portföylerin AP Yöntemi ile Etkinliklerinin Ölçülmesi..... 669-680
Measuring the Effectiveness of Portfolios Obtained by Particle Swarm Optimization Algorithm with AP Method
Azize Zehra ÇELENLİ BAŞARAN, Burçin ÖNER
- Determination of Hydrogen Peroxide Content and Antioxidant Enzyme Activities in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Seeds After Accelerated Aging Test..... 681-688
*Hızlandırılmış Yaşlandırma Testi Sonrasında Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Tohumlarında Hidrojen Peroksit İçeriği ve Antioksidant Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi*
Sercan ÖNDER, Damla GÜVERCİN ÖNDER, Muhammet TONGUÇ
- Endüktans Seçim Kriteri ve Güç Elektroniği Uygulamaları için Tasarım Aşamaları 689-695
Inductance Selection Criteria and Design Steps for Power Electronics Applications
Mustafa ŞAHİN
- Fiber Metal Laminatların Şekillendirilebilme Kabiliyetinin İncelenmesi..... 696-701
Investigation on Formability of Fiber Metal Laminates
Ali IŞIKTAŞ, Vedat TAŞKIN
- Kişi Başına Elektrik Tüketiminin Dalgacık Dönüşümüne Dayalı Tahmini 702-706
Forecasting of Per Capita Consumption of Electricity Based on Wavelet Decomposition
Aytaç PEKMEZCİ
- Fonksiyonellendirilmiş Alümina ve Silika Katkılı Kevlar-Cam Elyaf/Epoksi Reçineli Hibrit Kompozitlerin Cam ve Kevlar Yüzeylerine Uygulanan Darbe Enerjilerinin Darbe Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi 707-717
Investigation of Effect on Impact Behaviour of Impact Energies Applied on Glass and Kevlar Surfaces of Functionalized Alumina and Silica Additive Kevlar-Glass Fiber/Epoxy Resin Hybrid Composites
Ayşe ÖNDÜRÜCÜ, Gökhan CAN

Ferula (*Ferula gummosa* Boiss.) Meyvelerinde Uçucu ve Sabit Yağ Verimleri ile Bileşenlerinin Belirlenmesi

Murat MUTLUCAN¹, Sabri ERBAŞ², Ümit ERDOĞAN³, Arif ŞANLI⁴

^{1,2}Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

^{3,4}Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gül ve Aromatik Bitkiler Araştırma Merkezi, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 11.09.2020, Kabul / Accepted: 05.10.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Ferula gummosa,
Damıtma,
Ekstraksiyon,
GC-MS

Özet: *Ferula gummosa* Boiss uçucu yağı dünyada kozmetik ve parfümeri sektöründe kullanılan Apiaceae familyasının ekonomik değeri yüksek üyelerinden biridir. Bu çalışmada İran'ın Kashan ilinin kuzeyinde yer alan Mashadardehal bölgesinde doğal floradan toplanan *Ferula* meyvelerinin uçucu ve sabit yağ verimlilik ve kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. *F. gummosa* meyvelerinin uçucu yağ analizleri Neo-Clavenger tipi su distilasyon cihazında ve sabit yağ analizleri ise üç tekerrürlü olarak NMR cihazında, bileşen analizleri ise sırasıyla GC-MS ve GC-FID cihazlarında yapılmıştır. *Ferula* meyvelerinin 5.62±0.24 uçucu yağ ve uçucu yağ alındıktan sonra posaların %14.15 ± 0.97 sabit yağ içerdiği belirlenmiştir. Uçucu yağın ana bileşenlerinin β-pinene (%64.87), Δ-3-carene (%7.29), α-pinene (%4.60) ve β-myrcene (%2.26) olduğu tespit edilmiştir. *Ferula* sabit yağının %13.0'ü doymuş, %55.6'sı tekli doymamış, %31.0'i çiftli doymamış ve %0.3'ünün çoklu doymamış yağ asitlerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Sabit yağdaki ana bileşenlerin petroselinik (%34.959), linoleik (%30.788) ve oleik (%12.565) asit olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak; *Ferula* meyvelerinin yüksek uçucu yağ ve sabit yağ içermesi nedeniyle uçucu yağların β-pinene kaynağı olarak ve sabit yağların ise yüksek doymamışlık oranı ve petroselinik asit içeriğinden dolayı hem yenilenebilir hem de farmasötik ve oleo kimya endüstrisi için önemli potansiyeli mevcuttur.

The Determination of Essential and Fatty Oil Yields and Components of *Ferula (Ferula gummosa* Boiss.) Fruits

Keywords

Ferula gummosa,
Distillation,
Extraction,
GC-MS

Abstract: *Ferula gummosa* Boiss essential oil is used in the cosmetics and perfumery industry in the world and it is an economically important member of the Apiaceae family. The present study was conducted to determine the essential and fixed oil yield and quality of *Ferula* fruits collected from natural flora in Mashadardehal region located in the northern part of Kashan province of Iran. The essential oil content of *Ferula* fruits were analyzed in Neo-Clavenger apparatus and fixed oil content was analyzed in NMR with 3 replications. Oil's constituents were analyzed with GC-MS and GC-FID devices; respectively. The essential oil content of *Ferula* fruits was 5.62±0.24 and fixed oil content in fruit pulp after distillation was 14.146 ± 0.97%. The main components of the essential oil were found to be β-pinene (64.87%), Δ-3-carene (7.29%), α-pinene (4.60%) and β-myrcene (2.26%). The main components in fixed oil consisted of 13.0% saturated, 55.6% monounsaturated, 31.0% double unsaturated and 0.3% polyunsaturated fatty acids. The major components of fixed oil were petroselinic (34.959%), linoleic (30.788%) and oleic acids (12.565%). Based on the results of the study it could be recommended that *Ferula* fruits could be used as a source for β-pinene and as sources for petroselinic and linoleic acids due to their high fixed unsaturated oils. Therefore; *F. gummosa* fruits have the potential to be used for both edible oil and pharmaceutical-cosmetic oil source for the industry.

*İlgili yazar: muratmutlucan@gmail.com

1. Giriş

Ferula L. cinsi 180-185 türden oluşur Apiaceae familyasının [1] üçüncü büyük cinsidir [2]. *Ferula* cinsinin türleri esas olarak orta ve güneybatı Asya'da yayılım göstermektedir. Bununla birlikte, cinsin türleri aynı zamanda uzak doğu, kuzey Hindistan ve Akdeniz havzasında da bulunmaktadır [3]. Türlerin büyük çoğunluğu Pakistan, Türkmenistan, Afganistan ve İran'ın doğu ve orta kesimlerinde 2000 ve 4000 m rakımlarda ve ortalama yıllık 350-700 mm yağış gösteren bölgelerde doğal yayılış göstermektedir [4]. Yetiştirme alanları çoğunlukla yarı çöl iklime sahip dağ ve ovalardır. İran florasında 30 *Ferula* türü tespit edilmiştir. *F. gummosa*, *F. persica* ve *F. tabasensis* gibi türler endemik türlerdir [5]. *F. gummosa* İran'da doğal olarak yetişmekte olup, ortalama yedi yıl boyunca çiçek, meyve ve tohum vermektedir. Bitki boyu 0.8-3 m arasında değişmekte, 1800-3000 m yükseklikte, kuzey ve batı İran dağlık bölgelerinde 5°C'nin altındaki sıcakta ve yıllık ortalama 250-500 mm yağış alan yerlerde yayılış göstermektedir. *F. gummosa* yoğun kokulu oleoresine sahiptir ve oleoresin bitkinin farklı organlarından doğal olarak elde edilebilmektedir [6, 7]. Reçine miktarı bakımından bitkinin kökleri oldukça zengin olmasının yanında, vejetatif dönemde bitki saplarındaki reçine kanallarında da reçine bulunmaktadır. Üç yaşını tamamlamış bitkiler hasat olgunluğuna gelir ve bitki başına 10 g galbanum elde edilebilir [8]. İran'da lokal olarak Barije olarak bilinse de genel olarak 'galbanum' olarak adlandırılır. Galbanum genel olarak yiyecek ve içeceklerde tatlandırıcı ya da yoğunlaştırıcı olarak kullanılır [9]. Bunun yanında deterjan, parfümleri [10] ve çeşitli tutkal malzemelerinde de kullanılır [8]. *Ferula* türlerinin reçine ekstraktları ve damıtmadan elde edilen uçucu yağlar bir takım kükürtlü bileşikler içerir ve bunlar sınırlı miktarda parfüm fiksatifleri için kullanılırlar [11]. *F. gummosa* özellikle kolonya ve parfüm endüstrisinde parfüm kokusunu dengeleyici olarak tercih edilmektedir [12].

Apiaceae familyası üyelerinin tohum ve/veya meyveleri doğrudan kurutulup baharat olarak kullanılabilir ve damıtılarak uçucu yağları da elde edilebilmektedir. Türler arasında farklılık göstermekle birlikte uçucu yağ oranları iz düzeyde-%12.0 arasında değişmektedir [13]. Kültürü yapılan rezene ve anason bitkileri bu familya içerisinde yer alıp uçucu yağları *trans*-anetol (%75-95), kimyon uçucu yağı kumin aldehit (%15-30), kişniş uçucu yağı linalool (%80-85) ve dereotu uçucu yağı S-(+)-karvon (%35-70) içeriği bakımından oldukça zengindir [14]. Bunun yanında dünyada ticari değere sahip *F. gummosa* türü ile aynı cinste olan ve ülkemizde doğal florada yayılış gösteren *Ferula* türlerinin meyvelerinde %0.4-3.8 (*F. hermonis*, *F. drudeana*) arasında uçucu yağ bulunurken, uçucu yağın büyük çoğunluğu α -pinen (*F. brevipedicellata*, *F. mervynii*, *F. lycia*, *F. communis*, *F. elaeochytris*, *F. rigidula*, *F.*

hermonis, *F. coskunii*, *F. parva*, *F. tingitana*, *F. haussknechtii*) ve β -phellandrene (*F. halophila*, *F. orientalis*) gibi monoterpen bileşenler ve germacrene-D, β ve α -eudesmol (*F. szowitsiana*) ile shyobunone + epishyobunone + diepishyobunone (*F. drudeana*) gibi seskiterpen bileşenler oluşturmaktadır [15-20].

Apiaceae familyası türlerinin meyvelerinden uçucu yağ dışında yan ürün olarak sabit yağlar, tokoferoller ve fenolik maddeler elde edilme potansiyeli yüksektir [21]. Özellikle meyvelerin uçucu yağları damıtıldıktan sonra geriye kalan posalar sabit yağ bakımından zengin olup solvent ekstraksiyonu ile %8-30 arasında sabit yağ elde edilebilir. Bu bitkilerin sabit yağları, kültürü yapılan yağ bitkilerinin yağlarında bulunmayan yağ asitlerinden petroselinik (C18:1, 6c) asit içeriği bakımından zengin (%55-90) olup, yemeklik ve/veya sanayi yağı olarak değerlendirilebilmektedir [22-25]. Petroselinik asit dereotu, anason, rezene, kişniş, kimyon, kereviz ve maydanoz vb. gibi Apiaceae familyası türlerinin meyvelerinde % 80'e varan bir oran ile başlıca yağ asitlerinden biridir [26]. Bu yağ asidinin dışında düşük oranda bulunan *cis*-vasenik asit (C18:1, 11c) yine Apiaceae familyasına özgü yağ asitlerinden birisidir.

Ülkemizde Apiaceae familyasına ait 485 adet tür bulunmakta, bunlardan 23 tanesi *Ferula* cinsine aittir. Ülkemiz doğal florasında bulunan *Ferula* türlerinin reçine ve/veya meyve uçucu yağları henüz değerlendirilmemesinin yanında, aromatik yağ ve parfüm sektöründe istenilen standartları karşılamamaktadır. Zira hem uçucu yağ içeriği yüksek, hem de α -pinen bakımından daha zengin türler (çam, sedir, ardıç vb) bulunmasının yanında, henüz kültüre alma ile ilgili verilerin yetersiz olması bu türlerin değerlendirilmesini engellemektedir. Diğer taraftan aromatik yağ sektöründe kabul görmüş reçinesi kullanılan ve meyvelerinin değerlendirme potansiyeli yüksek olan *F. gummosa* gibi türlerin ülkemiz koşullarında değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Yürütülen bu çalışmada İran'ın Kashan ilinin kuzey tarafında yer alan Mashadardehal bölgesinde doğal floradan toplanan *F. gummosa* meyvelerinin uçucu ve sabit yağ verimlilik ve kalitesinin belirlenmesi ve potansiyelinin ortaya konması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışma 2019 yılında Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'ne bağlı Gül ve Aromatik Bitkiler Uygulama ve Araştırma Merkezinde yürütülmüş olup materyal olarak İran'ın Kashan ilinin Kuzey kısmında yer alan Mashadardehal bölgesinde doğal floradan toplanan hasat olgunluğuna gelmiş (meyve nem içerikleri %8.9 \pm 0.7) yaşları 4-6 arasında olan *F.*

gummosa meyveleri kullanılmıştır (Şekil 1). 23 Temmuz 2019 tarihinde toplam 20 bitkiden alınan tohumlar harman edilerek analizler yapılmaya kadar +4 °C'de depolanmıştır.



Şekil 1. Çalışmada materyal olarak kullanılan Ferula meyveleri

2.2. Metot

2.2.1. Uçucu yağ oranı (%) ve bileşenleri

F. gummosa meyveleri (100 g) üzerine 1 l saf su ilave edilerek Neo-Clavenger tipi su distilasyon cihazında üç saat süreyle üç tekerrürlü olarak damıtılmıştır [27]. Elde edilen uçucu yağ miktarı % (v/w) olarak ölçülmüştür. Damıtma sonrasında alınan uçucu yağdan 100 µl çekilerek 1 ml n-hekzan içinde seyreltilmiştir ve üzerinden 1 µl çekilerek GC-MS (Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrofotometresi) cihazına (QP5050 quadrapole detektörlü Shimadzu 2010 Plus) uçucu yağ bileşenlerinin belirlenmesi için enjekte edilmiştir. GC-MS'in çalışma koşulları aşağıda verilmiştir: Kapiler kolon olarak Restek Rxi®-5Sil MS (50 m × 0.32 mm, 0.25 µm) kullanılmıştır, fırın sıcaklık programı dakikada 10 °C artarak 60 °C'den 220 °C'ye ulaşmış ve 220 °C'de 10 dakika kadar bekleme şeklinde yapılmıştır. Toplam koşuturma süresinin 60 dakika enjektör sıcaklığının 240 °C ve detektör sıcaklığının 250 °C olarak ayarlandığı bu çalışmada taşıyıcı gaz olarak helyum (20 mL/dakika, split 1:20) gazı kullanılmıştır.

2.2.2. Sabit yağ oranı (%) ve bileşenleri

Damıtma sonrası açığa çıkan meyve posaları oda koşullarında sabit ağırlığa gelene kadar kurutulduktan sonra sabit yağ analizleri Nükleer Manyetik Rezonans (NMR, Brüker mqone) cihazında üç okuma yapılarak % yağ oranı ortalaması hesaplanmıştır. Kurutulmuş meyve posaları öğütülerek beş g tartılmış ve üzerine 10 ml n-hekzan eklenerek ham yağ elde edilmesi için bir gece ekstraksiyon yapılmıştır. Daha sonra filtre edilerek süzütüden solventin uzaklaştırılması için 45 °C'de kurutulmuştur [25]. Solvent uçurduktan sonra elde edilen ham yağ AOAC [28] tarafından önerilen yöntemle %0.5'lik Sodyum Metilat (NaOMe) ile metil esterlerine (FAME) dönüştürmüştür. Esterleşmiş yağ asitlerinin (FAME) toplandığı üst fazdan 1 µL

çekilerek gaz kromatografisi (GC-FID) cihazına enjekte edilmiştir. Yağ asitlerine ilişkin kromatogramlar elde edilerek yağ asitlerinin oranları belirlenmiştir. GC cihazının çalışma koşulları şu şekildedir; Kolon Teknokroma TR-CN100 (100 m × 0.25 mm, 0.20 µm), enjektör sıcaklığı 250 °C, detektör sıcaklığı 250 °C, akış hızı (psi) 10, taşıyıcı gaz N (40 ml/dk), enjektör kapasitesi 1.0 µl'dir. Fırın sıcaklığı 140 °C'de 10 dakika bekledikten sonra 240 °C'ye dakikada 3 °C'lik artışla ulaşıyor ve bu sıcaklıkta 10 dakika bekliyor. Elde edilen kromatogramlardaki pikler ticari standart yağ asidi metil ester karışımına (Sigma, Supelco® 37 Component FAME Mix) göre isimlendirilmiştir.

2.3. Verilerin değerlendirilmesi

Elde edilen verilerin standart hataları SAS 9.0 istatistik programında belirlenmiş ve ortalama ± standart hata şeklinde verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

F. gummosa meyvelerinden damıtma sonucunda %5.62 ± 0.24 oranında uçucu yağ elde edilmiş ve GC-MS analiz sonucuna göre yağda toplam % 99.82 oranında 57 adet uçucu bileşen tespit edilmiştir (Tablo 1). Uçucu yağın %84.30'u monoterpen hidrokarbon, %4.95'i oksijen içeren monoterpen, %4.87'si seskiterpen hidrokarbon, %3.70'i oksijen içeren seskiterpen, %0.07'si diterpen ve %1.98'i hidrokarbon grubu bileşenlerdir. Meyve uçucu yağının ana bileşenlerini β-pinene (%64.87), Δ-3-carene (%7.29), α-pinene (%4.60) ve β-myrcene (%2.26) oluştururken, bu bileşenler oransal olarak limonene (%1.89), myrtenol (% 1.89), *trans*-pinocarveol (%1.64), germacrene-B (%1.59), pinocarvone (%1.09), α-elemol (%1.10) ve guaiol (%1.07) bileşenleri izlemiştir. Geri kalan 46 bileşenin oranları %1'in altında tespit edilmiştir (Tablo 1). Dünyada *F. gummosa* reçinelerinden elde edilen uçucu yağlar parfümeri sektöründe koku sabitleyici (fiksator) olarak tercih edilmektedir. *F. gummosa* reçinelerinden elde edilen uçucu yağ bileşenleri üzerine en kapsamlı araştırma Hossein vd. [29], tarafından yürütülmüş olup 68 yeni bileşiğin tespit edildiği çalışmada, reçine uçucu yağın %75.80'i seskiterpen yapısında 100'ün üzerinde bileşikten meydana geldiği, bu bileşenlerin 61'i hidrokarbon, 29'u alkol, 2'si aldehit, 10'u oksit, 2'si keton, 1'i furan ve 1'i ise epoksit yapısında olduğu ve en önemli bileşenlerin ise bulnesol (%7.11), α-eudesmol (%4.30) ve α-bisabolol (%3.55) olduğu bildirilmiştir. Diğer taraftan reçine uçucu yağlarında %15.04 oranında monoterpen yapısında bileşikler bulunduğu bildirilmektedir [29]. Ancak *F. gummosa* türünün alt varyeteleri olduğu bilinmekte ve varyeteler arasında da farklılıklar olabileceği rapor edilmektedir [6]. Zira farklı çalışmalarda Ghannadi ve Amree [30] *F. gummosa* reçinelerden elde edilen yağ veriminin %10,6 olduğu ve bu yağın temel bileşenlerinin

Tablo1. *Ferula gummosa* meyvelerinin uçucu yağ oranı ve bileşenleri

No	RI ^a	Bileşen adı	Kimyasal grubu	Miktar (%)	No	RI	Bileşen adı	Kimyasal grubu	Miktar (%)
1	927.8	α-Thujene	MH	0.42	35	1376	α-Copaene	SH	0.19
2	936.1	α-Pinene	MH	4.60	36	1386.6	β-Cubebene	SH	0.02
3	950.3	Camphene	MH	0.14	37	1390.4	(-)-β-Elementene	SH	0.17
4	972.6	3,7,7-trimethyl-1,3,5-cycloheptatriene	CH	0.82	38	1420.1	(E)-β-Caryophyllene	SH	0.17
5	977.7	β-Pinene	MH	64.87	39	1422.4	β-Cedrene	SH	0.03
6	989.2	β-Myrcene	MH	2.26	40	1439.6	α-Guaiene	SH	0.12
7	1004.1	α-Phellandrene	MH	0.70	41	1453.1	α-Humulene	SH	0.23
8	1011.3	Δ-3-Carene	MH	7.29	42	1455	β-Farnesene, (E)	SH	0.05
9	1017.1	α-Terpinene	MH	0.04	43	1459.9	Alloaromadendrene	SH	0.16
10	1024.3	p-Cymene	MH	0.25	44	1480	Germacrene D	SH	0.38
11	1029.5	Limonene	MH	1.89	45	1482.4	α-Amorphene	SH	0.28
12	1031.8	Eucalyptol (1,8-cineole)	OM	0.00	46	1493	α-Selinene	SH	0.13
13	1037.8	β-Ocimene, (Z)	MH	0.39	47	1504	δ-Guaijene	SH	0.41
14	1059.7	γ-Terpinene	MH	0.07	48	1508.4	β-Bisabolene	SH	0.08
15	1062.0	Artemisia ketone	OM	0.3	49	1515	β-Vatirenene	SH	0.12
16	1086.9	Terpinolene	MH	0.13	50	1532	δ-Cadinene	SH	0.37
17	1098.1	trans-Sabinene hydrate	OH	0.16	51	1547	α-Elemol	OS	1.10
18	1099	Perillene	MH	0.02	52	1550.9	Germacrene B	SH	1.59
19	1129.9	allo-Ocimene	MH	0.09	53	1597	Guaiol	OS	1.07
20	1131.4	cis-p-Mentha-2,8-dien-1-ol	OM	0.05	54	1618	trans-Longipinocarveol	OS	0.65
21	1135.5	(1R)-(+)-Nopinone	AH	0.23	55	1618.7	γ-Eudesmol	OS	0.63
22	1140	trans-Pinocarveol	OH	1.64	56	1645	Dehydroxy-isocalamendiol	OS	0.25
23	1160.6	Pinocarvone	MH	1.09	57	1939	Cembrene	DT	0.07
24	1183	(3E,5Z)-1,3,5-Undecatriene	H	0.93	Uçucu yağ oranı			5.62 ±	0.24
25	1183.9	p-Cymen-8-ol	OH	0.19	Kimyasal gruplar (%)				
26	1192	Myrtenal	OH	0.03	Toplam				99.82
27	1194	Myrtenol	OH	1.89	Monoterpen hidrokarbon (MH)				84.30
28	1219.7	endo-Fenchyl acetate	OH	0.33	Oksijen içeren monoterpen (OM)				4.95
29	1233	Eucarvone	OH	0.11	Seskiterpen hidrokarbon (SH)				4.87
30	1234.3	Thymol, methyl ether	OH	0.02	Oksijen içeren seskiterpen (OS)				3.70
31	1261	Linalool acetate	OH	0.05	Diterpen (DT)				0.07
32	1283	Bornyl acetate	OH	0.13	Cyclic hydrocarbons (CH)				0.82
33	1328.6	(-)-Myrtenyl acetate	OH	0.05	Acyclic Hydrocarbons (AH)				0.23
34	1369.9	α-Ylangene	SH	0.37	Hydrocarbon (H)				0.93

^a RI: Alkılınma indeksi (Restek Rxi®-5Sil MS kolonunda C7-C30 doymuş n-alkan standardı serisi kullanılarak belirlenmiştir.

β-pinene (%58.80), Δ-3-carene (%12.10), α-pinene (%5.70), β-myrcene (%4.60), limonene (%4.00) ve γ-elemene (%2.40) olduğunu; Rustaiyan vd. [31] *F. gummosa* köklerinin damıtılmasından %3.0 uçucu yağ oranı elde edildiğini ve ana bileşenlerin β-pinene (%58.80), myrcene (%3.70), α-pinene (%2.60), guaiol (%2.10), α-cadinol (%2.00) ve Δ-3-carene (%1.50) olduğunu bildirmişlerdir [30, 31]. *F. gummosa*'nın kısımlarına ait (kök, çiçek, sap ve yaprak) reçinelerinde yapılan başka bir çalışmada en fazla uçucu yağ 13.99 mg/g kök ve 6.01 mg/g çiçeklerinden elde edilmiştir.

Kökte en çok triterpen yapılardan β-amyirin tespit edilirken, çiçekte monoterpen yapılardan α-pinene β-pinene ve sesquiterpene yapılardan α-eudesmol ve

germacrene-D ortaya çıkmıştır [7]. *Ferula* türlerinin meyve uçucu yağları hem ülkemizde hem de dünyada aromatik yağ ve parfüm sektöründe değerlendirmeyi bekleyen büyük bir potansiyeldir. Bu türlerin içinde *F. gummosa*'nın çalışmamızda ve daha önce yapılan araştırmalarda reçine uçucu yağ profiline benzerliği nedeniyle koku sektöründe kullanım potansiyeli yüksektir. Ancak hali hazırda doğadan toplanan bu türün tür içi varyasyonlarından dolayı seleksiyon ile yüksek yağ oranına sahip tiplerin tespit edilmesi gereklidir. Çalışmamızda kullanılan tipin uçucu yağ içeriği diğer araştırmalarda kullanılan tiplere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [32, 33]. Ancak uçucu yağ kompozisyonu bakımından özellikle β-pinene içeriğinin baskın koku bileşeni olması diğer araştırmalar ile benzerlik göstermektedir. Nitekim

Tablo 2. *Ferula gummosa* meyvelerinin sabit yağ oranı ve bileşenleri

No Yağ asidi	Formülü	Miktar (%)	No Yağ asidi	Formülü	Miktar (%)
1 Kaproik	C _{6:0}	0.370	17 Petroselinik	C _{18:1 n6c}	34.959
2 Kaprilik	C _{8:0}	0.579	18 Oleik	C _{18:1 n9c}	12.565
3 Kaprik	C _{10:0}	0.192	19 <i>cis</i> -Vassinik	C _{18:1 n11c}	0.940
4 Undekanoik	C _{11:0}	1.126	20 Linoleaidik	C _{18:2 n6t}	0.219
5 Laurik	C _{12:0}	0.344	21 Linoleik	C _{18:2 n6c}	30.788
6 Tridekanoik	C _{13:0}	0.383	22 Linolenik	C _{18:3}	0.168
7 Miristik	C _{14:0}	0.672	23 Araşidik	C _{20:0}	0.303
8 Miristoleik	C _{14:1}	0.151	24 <i>cis</i> -11-Eicosenoik	C _{20:1}	0.441
9 Pentadekanoik	C _{15:0}	0.300	25 Heneikozanoik	C _{21:0}	0.243
10 <i>cis</i> -10-Pentadekanoik	C _{15:1}	2.096	26 Erusik	C _{22:1n9}	0.317
11 Palmitik	C _{16:0}	5.675	27 Araşidonik	C _{20:4n6}	0.150
12 Palmitoleik	C _{16:1}	0.683	Sabit yağ oranı		14.1 ± 0.9
13 Heptadekanoik	C _{17:0}	0.542	Doymuş yağ asitleri		13.0
14 <i>cis</i> -10 Heptadekanoik	C _{17:1}	1.952	Tekli doymamış yağ asitleri		55.6
15 Stearik	C _{18:0}	2.313	Çiftli doymamış yağ asitleri		31.0
16 Elaidik	C _{18:1 n9t}	1.529	Çoklu doymamış yağ asitleri		0.3

Sayyah vd. [32] *F. gummosa* meyve yağlarında β -pinene içeriğini %50.10, Ghasemi vd. [33] % 43.78 oranında tespit etmiştir. Diğer taraftan çalışmamızda α -pinene içeriği yukarıdaki araştırmalara göre (sırasıyla %18.30 ve %27.27) daha düşük olduğu tespit edilmiştir [32, 33]. Bazı araştırmalarda Δ -3-carene bileşeninin yanında α -thujene ve sabinene bileşikleri de ana bileşen olarak belirlenirken [32], çalışmamızda bu bileşenler sırasıyla %0.42 ve %0.16 oranında tespit edilmiştir. *Ferula* meyve uçucu yağ içeriği ve bileşenlerinden gözlenen bu farklılığın genotip ve çevre farklılığından ileri geldiği düşünülmektedir. Ülkemizde *Ferula* türlerinin meyvelerinin yağ verimleri eser miktar ile %3.80 arasında değişim gösterdiği, en yüksek yağ verimlerinin *F. drudeana* (%3.7-3.8), *F. duranii* (%2.6), *F. elaeochytris* (%0.3-3.5), *F. coskunii* (%2.0), *F. parva* (%2.0), *F. mervynii* (%2.0), *F. hermonis* (%0.4-1.75) ve *F. brevipedicellata* (%1.87) türlerinde olduğu rapor edilmiştir [13]. Yine ülkemiz florasındaki türlerin meyvelerinin uçucu yağ bileşenleri incelendiğinde monoterpen bileşenlerince daha zengin olduğu; örneğin α -pinene içeriğinin *F. mervynii* türünde %80, *F. elaeochytris*'de %13-73, *F. hermonis*'de %72, *F. lycia*'de %15-69, *F. brevipedicellata*'da %65, *F. communis*'de %60, *F. rigidula*'da %13-60, *F. coskunii*'de %37, *F. tingitana*'da %5-36, *F. parva*'da %34 ve *F. haussknechtii*'de %32 oranlarında; β -phellandrene içeriğinin *F. halophila*'da %14-72, *F. orientalis*'te %24 oranlarında değiştiği bildirilmektedir [16, 19, 20, 34-36]. Diğer taraftan türlerin meyvelerinde seskiterpen bileşenlerinden germacrene D içeriğinin *F. anatolica*'da %30, *F. duranii*'de %25 oranında, β ve α -eudesmol içeriğinin *F. szowitsiana* yaprak ve saplarında %32-47 oranında değiştiği rapor edilmiştir [16, 19, 20, 34-36].

Çalıştığımız türün ülkemiz florasında bulunmamasına rağmen, özellikle β -pinene içeriğinin zengin olması 30'a yakın aromatik yağ fabrikasının bulunduğu Göller Bölgesinde değerlendirme potansiyelini arttırmaktadır.

Araştırmamızda uçucu yağı alınmış *F. gummosa* meyve posalarında sabit yağ oranı %14.14 ± 0.97 olarak tespit edilmiş ve bu yağın %13.0'ü doymuş, %55.6'sı tekli doymamış, %31.0'ü çiftli doymamış ve %0.3'ü çoklu doymamış yağ asitleri oluşturmuştur (Tablo 2). Yağ asitleri profili incelendiğinde; *F. gummosa* meyve yağının 27 adet yağ asidinden oluştuğu ve ana bileşenlerin petroselinik (%34.959), linoleik (%30.788) ve oleik (%12.565) asit olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan palmitik (%5.675), stearik (%2.313), *cis*-10-pentadekanoik (%2.096), *cis*-10-heptadekanoik (%1.952), elaidik (%1.529) ve undekanoik (%1.126) asit içerikleri ana bileşenlerden sonra en çok orana sahip yağ asitleri olarak sıralanmıştır (Tablo 2). Geriye kalan 18 adet yağ asidi oransal olarak %1'in altında kalmıştır. Apiaceae familyasına özgü yağ asitlerinden birisi olan *cis*-vassinik asit oranı ise %0.940 olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

Bettaieb vd. [37] Hindistan ve Tunus kaynaklı kimyon meyvelerinde sabit yağ içeriklerini sırasıyla %15.40 ve %17.77 ile petroselinik asit içeriklerini sırasıyla %41.42 ve %55.90 oranında; Reiter vd. [23] dört kişniş çeşidinin meyvelerinde sabit yağ içeriklerini %9.2-16.0 ve petroselinik asit içeriklerini %67.1-73.0 oranlarında; Bayrak ve Korkut [22] rezene meyvelerinde petroselinik asit sırasıyla %63.55-83.5 oranlarında tespit etmişlerdir [37, 38]. Alfekaiki [39] Irakta tarımı yapılan anason, kimyon, rezene ve frenk kimyonu tohumlarında sabit yağ içeriğinin sırasıyla

%17.6, 15.6, 13.4 ve 12.5 oranlarında olduğunu, linoleik ve petroselinik asit içeriğinin anasonda %25.1 ve %65.2, kimyonda %31.7 ve %61.1, rezenede %13.2 ve %79.3 ve frenk kimyonunda %34.4 ve %55.4 oranında olduğunu tespit etmiştir [39].

4. Sonuç

Parfüm ve kozmetik endüstrisi için önemli aromatik yağlardan olan *F. gummosa* İran'ın doğal florasında yayılış göstermekte ve çalışmamız sonucunda özellikle uçucu yağ bileşenlerinin reçinelerinden elde edilen bileşenler ile benzerlik gösterdiği ve bu amaçla meyvelerinde uçucu yağ elde edilmesinde kullanılabileceği görülmektedir. Ülkemiz doğal florasında bulunan Ferula türlerinin meyve uçucu yağ içeriğinin *F. gummosa* türünden daha düşük yağ içeriğine ve farklı yağ profillerine sahip olması, ayrıca *F. gummosa*'nın β -pinene kaynağı olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir. Diğer taraftan türün sabit yağ ve doymamış yağ asitleri içeriğinin yüksek olduğu hem yemeklik yağ hem de farmasötik ve oleo kimya endüstrisi için kullanım potansiyeli bulunmaktadır. *F. gummosa* meyvelerinin çimlendirilmesi ve çimlenen fidelerin tarla adaptasyon çalışmalarının yapılarak aromatik yağ endüstrisinin yoğun bulunduğu Göller Bölgesi'ne kazandırılması hedeflenmektedir.

Kaynakça

- [1] Yaqoob, U., Nawchoo, I. A. 2015. Conservation and Cultivation of *Ferula jaeschkeana* Vatke: A Species with Deep Complex Morphophysiological Dormancy. Proceedings of the National Academy of Sciences, India, Section B: Biological Sciences, 87(2), 315-327.
- [2] Pimenov, M. G., Leonov, M. V. 2004. Asya Umbelliferae Biyoçeşitlilik Veritabanı (ASIUM), Güney-Batı Asya Taksalarına Özel Referans ile. Turkish Journal of Botany, 28, 139-145.
- [3] Ajani, Y., Ajani, M. 2008. A New Species of Ferula (Umbelliferae) From Southern Iran. Edinburgh Journal of Botany. 65, 425-431.
- [4] Safaian, N., Shokri, M. 1993. Botanical and Ecological Study of Species of The Genus Ferula (Medicinal Plants) in Mazandaran Province. Acta Horticulturae, 333, 159-167.
- [5] Asili, J., Sahebkar, A., Fazly Bazzaz, B. S., Sharifi, S., Iranshahi, M. 2009. Identification of Essential Oil Components of *Ferula badrakema* Fruits by GC-MS and 13C-NMR Methods and Evaluation of its Antimicrobial Activity. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 12, 7-15.
- [6] Kouyakh, E. T. Naghavi, M. R. Alayhs, M. 2008. Study of The Essential Oil Variation of *Ferula gummosa* Samples From Iran. Chemistry of Natural Compounds. 44, 124-126.
- [7] Najafabadi, A. S., Naghavi, M. R., Farahmand, H., Abbasi, A., Yazdanfar, N. 2017. Chemical Composition of The Essential Oil from Oleo-Gumresin and Different Organs of *Ferula gummosa*. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 20, 282-288.
- [8] Mortazaienezhad, F., Sadeghian, M. M. 2006. Investigation of Compounds from Galbanum (*Ferula gummosa*) Boiss. Asian Journal of Plant Sciences, 5, 905-906.
- [9] Mohammadzadeh Milani, J., Rezaii, K., Safari, M., Ghanbarzadeh, B., Phillips G. O. 2015. Extraction and Physicochemical Properties of Barijeh (*Ferula galbaniflua*) gum. Journal of Food and Bioprocess Eng. 1, 9-20.
- [10] Panda, H. 2003 Herbal soaps & detergents hand book. Niir Project Consultancy Services, India, 536s.
- [11] Coppen, J. J. W. 1995. Gums, Resins and Latexes of Plant Origin. Non Wood Forest Products. Food and Agriculture Organisation of The United Nations, Romepp, 1-141.
- [12] Asl, Z. N. 2018. The Industrial-Therapeutic Impact of Ferula in Sustainable Development: A Case Study in Lezoor Village (Firuzkuh, IRAN). International Journal of Ayurvedic Medicine, 9(2), 92-98.
- [13] Baser, K. H. C., Kırimer, N. 2014. Essential Oils of Anatolian Apiaceae - A Profile. Natural Volatiles and Essential Oils, 1(1), 1-50.
- [14] Baydar, H. 2016. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi (Genişletilmiş 5. Baskı). SDÜ Yayınları, Yayın No: 51, Isparta, 424s.
- [15] Baser, K. H. C., Demirci, B. Duman, H. 2001. Composition of The Essential Oil of *Ferulago asparagifolia* Boiss. from Turkey. Journal of Essential Oil Research, 13(2), 134-135.
- [16] Baser, K. H. C., Demirci, B., Sağiroğlu, M. Duman, H. 2007. Essential Oils of *Ferula* Species of Turkey. Paper Presented at the 38th International Symposium on Essential Oils, September 9-12, Graz, Austria, 21-23.
- [17] Ozek, G., Ozek, T., Iscan, G., Baser, K. H. C., Duran, A., Hammoglu, E. 2008. Composition and Antimicrobial Activity of The Oils of *Ferula szowitsiana* DC. from Turkey. Journal of Essential Oil Research, 20(2), 186-190.
- [18] Kose, E. O., Aktas, O., Deniz, I. G. Sarikurkc, C. 2010. Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activity of Essential Oil of Endemic *Ferula lycia* Boiss., Journal of Medicinal Plants Research, 4(17), 1698-1703.
- [19] Miski, M., Kurkcuoğlu, M., Iscan, G., Tosun, F. 2012. *Ferula drudeana* Korovin Meyvalarından Elde Edilen Uçucu Yağın GC/GC-MS Analizi ve

- Antimikrobiyal Aktivitesi. 20. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı (20. BİHAT), 10-13 Ekim, Antalya, Turkey, 49.
- [20] Miski, M., Kurkcuoglu, M., Iscan, G., Tosun, F. 2013. Biological Activity and Composition of the Essential Oil of *Ferula rigidula* DC. 10th International Symposium on the Chemistry of Natural Compounds (10th SCNC), 21-23 Kasım, Taşkent/Buhara, Uzbekistan, 178.
- [21] Kooti, W., Moradi, M., Ali-Akbari, S., Sharafi-Ahvazi, N., Asadi-Samani, M., Ashtary-Larky, D. 2015. Therapeutic and Pharmacological Potential of *Foeniculum vulgare* Mill: a review. Journal of Herbmed Pharmacology, 4(1), 1-9.
- [22] Bayrak, A., Korkut, M. H. 1995. Bazı Tohum Yağlarının (Umbelliferae) Yağ Asidi Kompozisyonu ve Özellikle Petroselinik Asit Miktarları Üzerinde Araştırma-II. Standard, 400, 120-126.
- [23] Reiter, B., Lechner, M., Lorbeer, E. 1998. The Fatty Acid Profiles – Including Petroselinic and *cis*-vaccenic Acid – of Different Umbelliferae Seed Oils. Lipid/Fett, 100, 498-502.
- [24] Bayrak, A. 2006. Çeşitli Baharat Tohumu (Rezene, Çemenotu) Yağlarının Sterol ve Yağ Asidi Bileşimi. T.C. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, Proje No: 20050745001HPD, Ankara.
- [25] Baydar, H., Erbaş, S. 2014. Yağ Bitkileri Bilimi ve Teknolojisi. SDÜ Yayınları, Yayın No: 97, Isparta, 313s.
- [26] Charvet, A. S., Commeau, L. C., Gaydon, E. M. 1991. New Preparation of Pure Petroselinic Acid From Fennel Oil. JAKS Journal of the American Oil Chemists Society, 68(6), 604–607.
- [27] Anonim, 1975. European Pharmacopoeia, Maissonneuve Sinteruffine, Sainte Ruffine, France, 3, 68.
- [28] AOAC, 1997. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC. 684.
- [29] Hossein, T., Jalali, S. P., Juan J., Villaverde, M. A., Coimbra, M., Rosário, M., Domingues, Z. J., Ebrahimian, A. J. D. S., Sílvia M. R. 2013. Assessment of The Sesquiterpenic Profile of *Ferula Gummosa* Oleo-Gum-Resin (Galbanum) from Iran. Contributes to Its Valuation as a Potential Source of Sesquiterpenic Compounds. Industrial Crops and Products, 44, 185-191.
- [30] Ghannadi, A., Amree, S. 2002. Volatile Oil Constituents of *Ferula gummosa* Boiss. from Kashan, Iran. Journal of Essential Oil Research, 14(6), 420-421.
- [31] Rustaiyan, A., Monfared, A., Masoudi, S., Ameri, N. 2002. Essential Oils of The Stem and Root of *Ferula galbaniflua* Boiss. Et Buhse from Iran. Journal of Essential Oil Research.14, 286-287.
- [32] Sayyah, M., Kamalinejad, M., Bahrami Hidage, R., Rustaiyan, A. 2001. Antiepileptic Potential and Composition of the Fruit Essential Oil of *Ferula gummosa* Boiss. Iranian Biomedical Journal, 5, 69-72.
- [33] Ghasemi, Y., Faridi, P., Mehregan, I., Mohagheghzadeh, A. 2005. *Ferula gummosa* Fruits: an Aromatic Antimicrobial Agent. Chemistry of Natural Compounds, 41, 311-314.
- [34] Baser, K. H. C., Ozek, T., Demirci, B., Kurkcuoglu, M., Aytac, Z., Duman, H. 2000. Composition of the Essential Oils of *Zosima absinthifolia* (Vent.) Link and *Ferula elaeochytris* Korovin from Turkey. Flavour and Fragrance Journal, 15(6), 371-372.
- [35] Ozek, G., Ozek, T., Iscan, G., Baser, K. H. C., Duran, A. Hammoglu, E. 2008. Composition and Antimicrobial Activity of The Oils of *Ferula szowitsiana* DC. from Turkey. Journal of Essential Oil Research, 20(2), 186-190.
- [36] Kose, E. O., Aktas, O., Deniz, I. G. Sarikurkcu, C. 2010. Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activity of Essential Oil of Endemic *Ferula lycia* Boiss. Journal of Medicinal Plants Research, 4(17), 1698-1703.
- [37] Bettaieb, I., Bourgou, S., Sriti, J., Msaada, K., Limam, F., Marzouk, B. 2011. Essential Oils and Fatty Acids Composition of Tunisian and Indian Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Seeds: A Comparative Study. Journal of Science Food Agriculture, 91(11), 2100-2107.
- [38] Reiter, B., Lechner, M., Lorbeer, E. 1998. The Fatty Acid Profiles – Including Petroselinic and *Cis*-Vaccenic Acid – of Different Umbelliferae Seed Oils. Lipid/Fett, 100, 498-502.
- [39] Alfekaiki, D. F. 2018. Chemical and Physical Characteristics and Fatty Acid Profile of Some Oil Seeds of Apiaceae Family in Iraq. Chemical and Process Engineering Research, 58, 17-27.

E^3 te Verilen Bir Eğri Boyunca Sabit Ortalama Eğrilikli Yüzeylerin Oluşturulması

Hüsnü COŞANOĞLU¹, Ergin BAYRAM^{*2}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 55139, Samsun, Türkiye

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, 55139, Samsun, Türkiye

(Alınış / Received: 30.01.2020, Kabul / Accepted: 04.11.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Yüzey ailesi,
Sabit ortalama eğrilik,
3-boyutlu Öklid uzayı,
Salkowski eğrileri,
Antisalkowski eğrileri,
Helis eğrileri

Özet: Bu çalışmada, 3 boyutlu Öklid uzayında alınan herhangi bir eğriden geçen ve bu eğri boyunca ortalama eğrilikli sabit olan yüzeyler bulmak için yeterli şartlar elde edildi. Bunun için öncelikle verilen eğrinin Frenet çatısında yer alan teğet vektör alanı, asli normal vektör alanı ve binormal vektör alanı ile sapma fonksiyonları adı verilen C^1 sınıftan, iki değişkenli, reel değerli fonksiyonlar yardımıyla bu eğriden geçen yüzeyler parametrik olarak ifade edildi. Bu yüzeylerin, verilen eğri boyunca ortalama eğrilikli; eğrinin eğrilikli, burulması, sapma fonksiyonları ve bunların kısmi türevleri cinsinden hesaplandı. Verilen eğri boyunca ortalama eğrilikli sabit olması için yeterli şartlar elde edildi. Bazı örnekler verildi.

Construction of Surfaces with Constant Mean Curvature along a Curve in E^3

Keywords

Surface family,
Constant mean curvature,
Euclidean 3-space,
Salkowski curves,
Antisalkowski curves,
Helix curves

Abstract: In this study, the sufficient conditions are obtained to find surfaces that pass through any given curve in 3-dimensional Euclidean space and whose mean curvature is constant along this curve. For this purpose, firstly, surfaces passing through the given curve are expressed parametrically with the help of the tangent vector field, the principal normal vector field and the binormal vector field of the Frenet frame of the given curve, and the so called marching scale functions which are real valued C^1 functions of two variables. The mean curvature of these surfaces along the given curve is calculated in terms of curvature and torsion of the given curve and, marching scale functions and their partial derivatives. Sufficient conditions are obtained to keep the mean curvature constant along the given curve. Some examples are given.

1. Giriş

Eğriler ve yüzeyler diferansiyel geometride uzun yıllardır çalışılan konulardır. Eğri ve yüzeyler birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. Bu nedenle yüzey oluşturma problemleri, özel olarak, verilen bir eğriden geçen ve bu eğriyi özel eğri kabul eden yüzey bulma problemleri birçok bilim insanının ilgisini çekmektedir. Wang ve ark. [1] bu tür problemi ilk olarak 2004 yılında ortaya atarak verilen bir eğriden geçen ve bu eğriyi ortak geodezik kabul eden yüzeyleri elde etmiştir. Kasap ve ark. [2] ise Wang ve ark. [1] tarafından kullanılan sapma fonksiyonlarını genelleştirerek daha genel bir ortak geodeziğe sahip yüzey ailesi elde etmiştir. 2011 yılında ise Li ve ark. [3] ortak eğrilikli çizgili yüzey ailesi için yeterli şartları sunmuştur. Ergün ve ark. [4] ise Li ve ark. [3] tarafından yapılan çalışmayı 3 boyutlu Minkowski uzayına taşımıştır. Ortak asimptotik eğriye sahip yüzey ailesi Bayram ve ark. [5] tarafından tanımlanmıştır.

Diferansiyel geometride, sabit ortalama eğrilikli yüzeylerin sınıflandırılması temel bir problemdir. Sabit ortalama eğrilikli bir yüzey, gerilim kuvvetlerinin ve dış basıncın dengelendiği bir yüzey olarak düşünülebilir. Sabit ortalama eğrilikli yüzeyler ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. 1951'de Hopf [6], R^3 'teki herhangi bir daldırılmış sabit ortalama eğrilikli yüzeyin bir küre olduğunu ispatlamıştır. Alexandrov [7], R^3 'teki herhangi bir kompakt gömülü sabit ortalama eğrilikli yüzeyin küre olduğunu göstermiştir. Meeks ve Tinaglia [8], sıfır olmayan sabit ortalama eğrilikli R^3 'e gömülü kompakt diskler için içsel eğrilik ve yarıçap tahminlerini türeterek bu tahminleri, sıfır olmayan sabit eğrilikli sahip R^3 'e gömülü tam yüzeylerin küresel geometrisini incelemek için uygulamıştır.

Bu çalışmada ise yukarıdaki makaleler ışığında 3 boyutlu Öklid uzayında alınan herhangi bir eğriden geçen ve bu eğri boyunca ortalama eğrilikli sabit olan yüzeyler bulmak için yeterli şartlar elde edildi.

2. Materyal ve Metot

İlk olarak, bu makalede kullanılacak kavramlar tanıtılacaktır.

$r: I \rightarrow E^3, r = (r_1, r_2, r_3)$ şeklinde bir eğri olsun.

$\forall s \in I$ için $r'(s) \neq 0$ ise r ye regüler eğri denir [9].

$\forall s \in I$ için $r(s) \in E^3$ noktasındaki

$$r'(s) = \left(\frac{dr_1}{dt}(s), \frac{dr_2}{dt}(s), \frac{dr_3}{dt}(s) \right)_{r(s)}$$

tanjant vektörüne r nin s noktasındaki hız vektörü denir [9]. $\lambda(s) = \|r'(s)\|$ ifadesine r eğrisinin s noktasındaki hızı denir [9]. $r(s)$ eğrisinin teğet, asli normal ve binormal vektör alanı, sırasıyla, $T(s) = \frac{r'(s)}{\|r'(s)\|}, N(s) = B(s) \times T(s), B(s) = \frac{r' \times r''}{\|r' \times r''\|}$, olmak üzere $\{T(s), N(s), B(s)\}$ ortonormal sistemine eğrinin Frenet çatısı denir. Eğrinin eğrilik ve burulması, sırasıyla, $\kappa(s)$ ve $\tau(s)$ olmak üzere Frenet çatısı için türev formülleri şu şekildedir [5]:

$$\begin{bmatrix} T' \\ N' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \lambda\kappa & 0 \\ -\lambda\kappa & 0 & \lambda\tau \\ 0 & -\lambda\tau & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ N \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$m \in \mathbb{R} - \{0, \pm \frac{\sqrt{3}}{3}\}$ olmak üzere

$$r_m(s) = \frac{1}{\sqrt{1+m^2}} \left(-\frac{1-n}{4(1+2n)} \sin((1+2n)s) - \frac{1+n}{4(1-2n)} \sin((1-2n)s) - \frac{1}{2} \sin s, \right. \\ \left. \frac{1-n}{4(1+2n)} \cos((1+2n)s) + \frac{1+n}{4(1-2n)} \cos((1-2n)s) - \frac{1}{2} \cos s, \frac{1}{4m} \cos(2ns) \right)$$

şeklinde tanımlanan eğriye Salkowski eğrisi denir. Burada $n = \frac{m}{\sqrt{1+m^2}}$ dir [10].

$r(s)$ Salkowski eğrisi için $\|r'_m(s)\| = \frac{\cos(ns)}{\sqrt{1+m^2}}$ dir.

Dolayısıyla eğri $[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ aralığında regülerdir ve $\kappa(s) = 1$ ve $\tau(s) = \tan(ns)$ dir. Frenet elemanları ise

$$T(s) = (-\cos(s)\cos(ns) + n\sin(s)\sin(ns), \cos(ns)\sin s - n\cos(s)\sin(ns), \frac{n}{m} \sin(ns))$$

$$N(s) = n \left(\frac{\sin(s)}{m}, \frac{\cos(s)}{m}, -1 \right)$$

$$B(s) = (n\sin(s)\cos(ns) - \cos(s)\sin(ns), -n\cos(s)\cos(ns) - \sin(s)\sin(ns), \frac{n}{m} \cos(ns))$$

şeklinde [10].

$\alpha(s)$ birim hızlı, eğriliği sıfırdan farklı bir eğri olmak üzere $r(s) = \int_{s_0}^s B^\alpha(u) du$ olsun. $\alpha(s)$ ve $r(s)$ nin Frenet elemanları, sırasıyla $\{T^\alpha, N^\alpha, B^\alpha, \kappa^\alpha, \tau^\alpha\}$ ve $\{T^r, N^r, B^r, \kappa^r, \tau^r\}$ olmak üzere $T^r = B^\alpha, N^r = -N^\alpha, B^r = T^\alpha, \kappa^r = |\tau^\alpha|, \tau^r = \kappa^\alpha$ dir [11].

$\alpha(s)$ birim hızlı, $\tau^\alpha = 1$ olan, eğriliği sıfırdan farklı bir eğri ve $r(s) = \int_{s_0}^s B^\alpha(u) du$ olsun,

$$\alpha(s) = \left(\frac{n\cos s}{2(4n^2-1)m} (n(1-4n^2+3\cos(2ns))) + (2n^2+1)\sin s \sin(2ns), \right. \\ \left. \frac{n\sin s}{2(4n^2-1)m} (n(1-4n^2+3\cos(2ns))) - (2n^2+1)\cos s \sin(2ns), \right. \\ \left. \frac{n^2-1}{4n} (2ns + \sin(2ns)) \right)$$

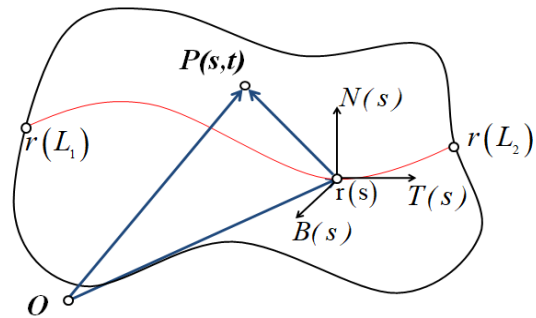
$n = \frac{m}{\sqrt{1+m^2}}$ ise $\kappa^r = 1$ olup $r(s)$ Salkowski eğrisi, $\alpha(s)$ eğrisi de Antisalkowski eğrisidir [12].

3. Bulgular

$r(s), E^3$ Öklid uzayında $\kappa(s)$ eğrilikli, $\tau(s)$ burulmalı, regüler bir eğri olsun. Ayrıca, her s için $r''(s) \neq 0$ olduğunu kabul edelim. $\{T(s), N(s), B(s)\}, r(s)$ eğrisinin Frenet çatısı olmak üzere bu eğriden geçen yüzeyler parametrik olarak

$$P(s, t) = r(s) + u(s, t)T(s) + v(s, t)N(s) + w(s, t)B(s) \quad (2)$$

$L_1 \leq s \leq L_2, T_1 \leq t \leq T_2$, ile verilir (Şekil 1. [1]).



Şekil 1. $r(s)$ eğrisi ve bu eğriden geçen $P(s, t)$ yüzey ailesi

$r(s)$ eğrisinin $P(s, t)$ yüzeyi üzerinde parametre eğrisi olması için yeterli koşul

$$u(s, t_0) + v(s, t_0) + w(s, t_0) \equiv 0 \quad (3)$$

$L_1 \leq s \leq L_2$, olacak şekilde $\exists t_0 \in [T_1, T_2]$ bulunmasıdır.

$P(s, t)$ yüzeyinin ortalama eğriliği

$$H(s, t) = \frac{(\det(P_{ss}, P_s, P_t)) \|P_t\|^2}{2(\|P_s\|^2 \|P_t\|^2 - \langle P_s, P_t \rangle^2)^{\frac{3}{2}}}(s, t)$$

$$-\frac{\det(P_{st}, P_s, P_t) \langle P_s, P_t \rangle}{(\|P_s\|^2 \|P_t\|^2 - \langle P_s, P_t \rangle^2)^{\frac{3}{2}}}(s, t) + \frac{\det(P_{tt}, P_s, P_t) \|P_s\|^2}{2(\|P_s\|^2 \|P_t\|^2 - \langle P_s, P_t \rangle^2)^{\frac{3}{2}}}(s, t) \quad (4)$$

dir [13].

$r(s)$ eğrisinden geçen $P(s, t)$ yüzeyinin bu eğri boyunca ortalama eğriliğini bulmak için gerekli olan aşağıdaki hesaplamaları yapalım. (2) denklemi göz önüne alınırsa

$$P_s = r' + u_s T + u_t T' + v_s N + v_t N' + w_s B + w_t B',$$

$$P_s = (\lambda + u_s - \lambda v_t \kappa) T + (\lambda u_t \kappa + v_s - \lambda w_t \tau) N + (\lambda v_t \tau + w_s) B,$$

$$P_t = u_t T + v_t N + w_t B,$$

$$P_s(s, t_0) = \lambda T,$$

$$P_{ss}(s, t_0) = \lambda' T + \lambda^2 \kappa N,$$

$$P_t(s, t) = u_t T + v_t N + w_t B,$$

$$P_{ts} = P_{st} = u_{ts} T + u_t T' + v_{ts} N + v_t N' + w_{ts} B + w_t B',$$

$$P_{ts} = P_{st} = (u_{ts} - \lambda \kappa v_t) T + (\lambda \kappa u_t + v_{ts} - \lambda \tau w_t) N + (\lambda \tau v_t + w_{ts}) B,$$

$$P_{tt}(s, t) = u_{tt} T + v_{tt} N + w_{tt} B,$$

$$\det(P_{ss}, P_s, P_t) = \begin{vmatrix} \lambda' & \lambda^2 \kappa & 0 \\ \lambda & 0 & 0 \\ u_t & v_t & w_t \end{vmatrix} = \lambda^3 \kappa w_t,$$

$$\det(P_{st}, P_s, P_t) = \begin{vmatrix} u_{ts} - \lambda \kappa v_t & \lambda \kappa u_t + v_{ts} - \lambda \tau w_t & \lambda \tau v_t + w_{ts} \\ \lambda & 0 & 0 \\ u_t & v_t & w_t \end{vmatrix}$$

$$\det(P_{st}, P_s, P_t) = -\lambda [w_t (\lambda \kappa u_t + v_{ts} - \lambda \tau w_t) - v_t (\lambda \tau v_t + w_{ts})],$$

$$\det(P_{tt}, P_s, P_t) = \begin{vmatrix} u_{tt} & v_{tt} & w_{tt} \\ \lambda & 0 & 0 \\ u_t & v_t & w_t \end{vmatrix} = -\lambda (v_{tt} w_t - v_t w_{tt}),$$

$$\|P_t\|^2 = u_t^2 + v_t^2 + w_t^2,$$

$$\|P_s\|^2 = \lambda^2, \langle P_s, P_t \rangle = \lambda u_t \text{ elde edilir.}$$

Yukarıdaki hesaplamalar (4) denklemine yerine yazılırsa $r(s)$ eğrisinden geçen $P(s, t)$ yüzeyinin bu eğri boyunca ortalama eğriliği

$$H(s, t_0) = \frac{-\lambda \kappa w_t (u_t^2 + v_t^2 + w_t^2) + 2u_t [w_t (\lambda \kappa u_t + v_{ts} - \lambda \tau w_t) - v_t (\lambda \tau v_t + w_{ts})] - \lambda (v_{tt} w_t - v_t w_{tt})}{2\lambda (v_t^2 + w_t^2)^{\frac{3}{2}}}(s, t_0) \quad (5)$$

olarak elde edilir.

Teorem 1 $P(s, t)$ yüzeyinin $r(s)$ eğrisi boyunca ortalama eğriliğinin sabit olması için yeterli koşul, $L_1 \leq s \leq L_2, t_0 \in [T_1, T_2]$ için

$$\begin{cases} u_t(s, t_0) = v_t(s, t_0) \neq 0, \\ u(s, t_0) = v(s, t_0) = w(s, t_0) = w_t(s, t_0) \equiv 0, \\ \tau(s) = s b t \end{cases}$$

veya

$$\begin{cases} u_t(s, t_0) = w_t(s, t_0) \neq 0, \\ u(s, t_0) = v(s, t_0) = w(s, t_0) = v_t(s, t_0) \equiv 0 \\ \tau(s) = s b t \end{cases}$$

olmasıdır.

İspat: Bir $r(s)$ eğrisi verilsin. (3) denkleminden $r(s)$ eğrisinin $P(s, t)$ yüzeyi üzerinde parametre eğrisi olması için yeterli koşul $u(s, t_0) = v(s, t_0) = w(s, t_0) = 0$ olmasıdır. Ayrıca $u_t(s, t_0) = v_t(s, t_0) \neq 0 \equiv w_t(s, t_0)$ olarak alınırsa (4) denklemi $H(s, t_0) = \tau(s)$ denklemine dönüşür. O halde, eğri boyunca ortalama eğriliğinin sabit olması için $\tau(s) = s b t$ olmalıdır. Anti-Salkowski eğrileri buna örnektir. Diğer durum için ispat benzer şekilde yapılır.

Teorem 2 $P(s, t)$ yüzeyinin $r(s)$ eğrisi boyunca ortalama eğriliğinin sabit olması için yeterli koşul $L_1 \leq s \leq L_2, t_0 \in [T_1, T_2]$ için

$$\begin{cases} u_t(s, t_0) = v_t(s, t_0) = w_t(s, t_0) \neq 0, \\ u(s, t_0) = v(s, t_0) = w(s, t_0) \equiv 0 \end{cases}$$

iken $\tau(s) = \kappa(s) = s b t$ veya $\kappa(s) = -4\tau(s)$ olmasıdır.

İspat: Bir $r(s)$ eğrisi verilsin. (3) denkleminden $r(s)$ eğrisinin $P(s, t)$ yüzeyi üzerinde parametre eğrisi olması için yeterli koşul $u(s, t_0) = v(s, t_0) = w(s, t_0) = 0$ olmasıdır. Ayrıca $u_t(s, t_0) = v_t(s, t_0) = w_t(s, t_0) \neq 0$ olarak alınırsa (5) denklemi

$$H(s, t_0) = \frac{-\kappa(s) - 4\tau(s)}{4\sqrt{2}}$$

denkleme dönüşür. O halde, eğri boyunca ortalama eğriliğinin sabit olması için $\tau(s) = \kappa(s) = s b t$ veya $\kappa(s) = -4\tau(s)$ olmalıdır. Helis eğrileri buna örnektir.

Teorem 3 $P(s, t)$ yüzeyinin $r(s)$ eğrisi boyunca ortalama eğriliğinin sabit olması için yeterli koşul $L_1 \leq s \leq L_2, t_0 \in [T_1, T_2]$ $u(s, t_0) = v(s, t_0) = w(s, t_0) = u_t(s, t_0) \equiv 0$ olmak üzere $v_t(s, t_0) \neq 0 = w_t(s, t_0)$ veya $\frac{v(s, t_0)}{w(s, t_0)} = s b t, \kappa(s) = s b t$ olmasıdır.

İspat: $u(s, t_0) = v(s, t_0) = w(s, t_0) = u_t(s, t_0) \equiv 0$ alınırsa $P_s(s, t_0) \perp P_t(s, t_0)$ olur ve ortalama eğriliği fonksiyonu

$$H(s, t_0) = \frac{\kappa(s) w_t (v_t^2 + w_t^2) + v_{tt} w_t - v_t w_{tt}}{-2(v_t^2 + w_t^2)^{\frac{3}{2}}}(s, t_0) \quad (6)$$

şekline dönüşür.

$v_t(s, t_0) \neq 0 = w_t(s, t_0)$ (6) denkleminde yerine yazılırsa $H(s, t_0) = 0 = sbt$ olur veya $v_t(s, t_0) = w_t(s, t_0) \neq 0$ (6) denkleminde yerine yazılırsa $H(s, t_0) = \frac{-\kappa(s)}{2\sqrt{2}}$ olur. Ortalama eğriliğin sabit olması için $\kappa(s) = sbt$ olmalıdır. Salkowski eğrileri buna örnektir.

Örnek 1

$r(s) = \left(\cos\left(\frac{\sqrt{2}}{2}s\right), \sin\left(\frac{\sqrt{2}}{2}s\right), \frac{\sqrt{2}}{2}s \right), -2 \leq s \leq 2$ eğrisi verilsin. Bu eğrinin Frenet çatısı

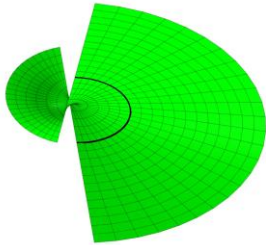
$$\begin{cases} T(s) = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2} \sin\left(\frac{\sqrt{2}}{2}s\right), \frac{\sqrt{2}}{2} \cos\left(\frac{\sqrt{2}}{2}s\right), \frac{\sqrt{2}}{2}s \right), \\ N(s) = \left(-\cos\left(\frac{\sqrt{2}}{2}s\right), -\sin\left(\frac{\sqrt{2}}{2}s\right), 0 \right), \\ B(s) = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2} \sin\left(\frac{\sqrt{2}}{2}s\right), -\frac{\sqrt{2}}{2} \cos\left(\frac{\sqrt{2}}{2}s\right), \frac{\sqrt{2}}{2}s \right) \end{cases}$$

dır.

Eğer $t_0 = 0$ ve sapma fonksiyonları $u(s, t) = v(s, t) = w(s, t) = t$ olarak seçilirse Teorem 2 sağlanır. Böylece $r(s)$ eğrisinden geçen ve bu eğri boyunca ortalama eğriliği sabit olan

$$P_1(s, t) = \left(\cos\left(\frac{\sqrt{2}}{2}s\right) - t \cos\left(\frac{\sqrt{2}}{2}s\right), \sin\left(\frac{\sqrt{2}}{2}s\right) - t \sin\left(\frac{\sqrt{2}}{2}s\right), \frac{\sqrt{2}}{2}s + \sqrt{2}t \right)$$

$-2 \leq s \leq 2, -2 \leq t \leq 2$ yüzeyi elde edilir (Şekil 2).



Şekil 2. $r(s)$ eğrisi boyunca ortalama eğriliği sabit olan $P_1(s, t)$ yüzeyi

Örnek 2

$$r(s) = \frac{3}{\sqrt{10}} \left(\frac{\sqrt{10}-10}{40+8\sqrt{10}} \sin\left(\frac{5+\sqrt{10}}{5}s\right) - \left(\frac{\sqrt{10}+10}{40-8\sqrt{10}}\right) \sin\left(\frac{5-\sqrt{10}}{5}s\right) - \frac{1}{2} \text{sins}, \frac{\sqrt{10}-10}{40+8\sqrt{10}} \cos\left(\frac{5+\sqrt{10}}{5}s\right) - \left(\frac{\sqrt{10}+10}{40-8\sqrt{10}}\right) \cos\left(\frac{5-\sqrt{10}}{5}s\right) + \frac{1}{2} \text{coss}, \frac{3}{4} \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{5}s\right) \right)$$

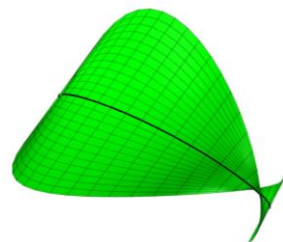
$-2 \leq s \leq 2$ eğrisi verilsin. Bu eğrinin Frenet çatısı

$$\begin{cases} T(s) = \left(-\text{coss} \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) - \frac{\sqrt{10}}{10} \text{sins} \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right), -\text{sins} \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) + \frac{\sqrt{10}}{10} \text{coss} \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right), \frac{3\sqrt{10}}{10} \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) \right), \\ N(s) = \left(\frac{3\sqrt{10}}{10} \text{sins}, -\frac{3\sqrt{10}}{10} \text{coss}, -\frac{\sqrt{10}}{10} \right), \\ B(s) = \left(\frac{\sqrt{10}}{10} \text{sins} \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) - \text{coss} \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right), -\frac{\sqrt{10}}{10} \text{coss} \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) - \text{sins} \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right), \frac{3\sqrt{10}}{10} \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) \right) \end{cases}$$

dır. Eğer $t_0 = 0$ ve sapma fonksiyonları $u(s, t) = v(s, t) = w(s, t) = t$ olarak seçilirse Teorem 3 sağlanır. Böylece $r(s)$ eğrisinden geçen ve bu eğri boyunca ortalama eğriliği sabit olan

$$P_2(s, t) = \left(\frac{3}{\sqrt{10}} \left(\frac{\sqrt{10}-10}{40+8\sqrt{10}} \sin\left(\frac{5+\sqrt{10}}{5}s\right) - \left(\frac{\sqrt{10}+10}{40-8\sqrt{10}}\right) \sin\left(\frac{5-\sqrt{10}}{5}s\right) - \frac{1}{2} \text{sins} \right) + t \left(\frac{3\sqrt{10}}{10} \text{sins} + \frac{\sqrt{10}}{10} \text{sins} \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) - \text{coss} \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) \right), \frac{3}{\sqrt{10}} \left(\frac{\sqrt{10}-10}{40+8\sqrt{10}} \cos\left(\frac{5+\sqrt{10}}{5}s\right) + \left(\frac{\sqrt{10}+10}{40-8\sqrt{10}}\right) \cos\left(\frac{5-\sqrt{10}}{5}s\right) + \frac{1}{2} \text{coss} \right) + t \left(-\frac{3\sqrt{10}}{10} \text{coss} - \frac{\sqrt{10}}{10} \text{coss} \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) - \text{sins} \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) \right), \frac{3}{\sqrt{10}} \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{5}s\right) + t \left(-\frac{\sqrt{10}}{10} + \frac{3\sqrt{10}}{10} \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) \right) \right)$$

$-2 \leq s \leq 2, -2 \leq t \leq 2$ yüzeyi elde edilir (Şekil 3).



Şekil 3. $r(s)$ eğrisi boyunca ortalama eğriliği sabit olan $P_2(s, t)$ yüzeyi

Örnek 3

$$r(s) = \left(\frac{-\sqrt{10}}{4} \left(\frac{1}{\sqrt{10}} \left(\frac{3}{5} + 3\cos\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right) \right) \right) \cos s \right. \\ \left. + \frac{6}{5} \sin s \sin\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right), \right. \\ \left. \frac{-\sqrt{10}}{4} \left(\frac{1}{\sqrt{10}} \left(\frac{3}{5} + 3\cos\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right) \right) \right) \sin s \right. \\ \left. - \frac{6}{5} \cos s \sin\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right), \right. \\ \left. \frac{-9}{4\sqrt{10}} \left(\frac{2}{\sqrt{10}}s + \sin\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right) \right) \right),$$

$-1 \leq s \leq 1$, eğrisi verilsin. Bu eğrinin Frenet çatısı

$$\left\{ \begin{array}{l} T(s) = \left(\frac{\sqrt{10}}{10} \sin s \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) - \cos s \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right), \right. \\ \left. -\frac{\sqrt{10}}{10} \cos s \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) - \sin s \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right), \right. \\ \left. \frac{3\sqrt{10}}{10} \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) \right), \\ N(s) = \left(-\frac{3\sqrt{10}}{10} \sin s, \frac{3\sqrt{10}}{10} \cos s, \frac{\sqrt{10}}{10} \right), \\ B(s) = \left(-\cos s \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) - \frac{\sqrt{10}}{10} \sin s \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right), \right. \\ \left. -\sin s \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) + \frac{\sqrt{10}}{10} \cos s \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right), \right. \\ \left. \frac{3\sqrt{10}}{10} \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) \right) \end{array} \right.$$

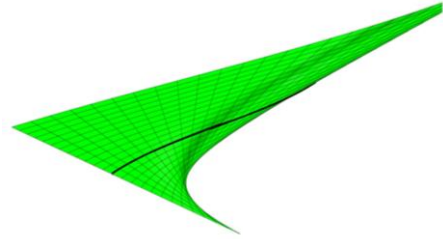
dır. Eğer sapma fonksiyonları $u(s, t) = t, v(s, t) = t, w(s, t) = 0, s \in [-1, 1], t \in [-1, 1]$ olarak seçilirse Teorem 1 sağlanır. $r(s)$ eğrisinden geçen yüzeyin denklemi

$$P_3(s, t) = \left(\frac{-\sqrt{10}}{4} \left(\frac{1}{\sqrt{10}} \left(\frac{3}{5} + 3\cos\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right) \right) \right) \cos s \right. \\ \left. + \frac{6}{5} \sin s \sin\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right) \right) \\ + t \left(\frac{\sqrt{10}}{10} \sin s \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) \right. \\ \left. - \cos s \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) - \frac{3\sqrt{10}}{10} \sin s \right) \\ - \frac{\sqrt{10}}{4} \left(\frac{1}{\sqrt{10}} \left(\frac{3}{5} + 3\cos\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right) \right) \right) \sin s, \\ \left. - \frac{6}{5} \cos s \sin\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right) \right)$$

$$+ t \left(-\frac{\sqrt{10}}{10} \cos s \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) \right. \\ \left. - \sin s \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) + \frac{3\sqrt{10}}{10} \cos s \right), \\ \frac{-9}{4\sqrt{10}} \left(\frac{2}{\sqrt{10}}s + \sin\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right) \right) \\ + t \left(\frac{3\sqrt{10}}{10} \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) + \frac{\sqrt{10}}{10} \right)$$

olur (Şekil 4). $t_0 = 0$ için $u(s, t_0) = v(s, t_0) = w(s, t_0) = 0$ dir. Yani (3) denklemden $r(s)$ eğrisi $P_3(s, t)$ yüzeyinin bir parametre eğrisidir.

$u_t(s, t_0) = v_t(s, t_0) = 1$ ifadeleri (6) denkleminde yerine yazılırsa $H(s, t_0) = \frac{-2u_t v_t^2 \lambda \tau(s)}{2\lambda v_t^3} = -\tau(s)$ olur. $\tau(s) = 1$ olduğundan $P_3(s, t)$ yüzeyinin $r(s)$ eğrisi boyunca ortalama eğriligi sabittir.



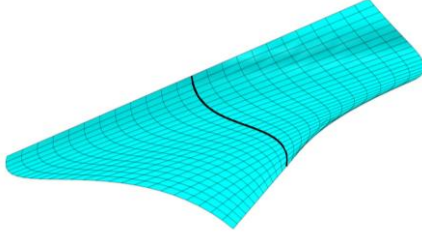
Şekil 4. $r(s)$ eğrisi boyunca ortalama eğriligi sabit olan $P_3(s, t)$ yüzeyi

Aynı eğri için sapma fonksiyonlar $u(s, t_0) = v(s, t_0) = w(s, t_0) = 0$ olarak seçilirse Teorem 1 sağlanır ve $r(s)$ eğrisi eğrisi boyunca sabit ortalama eğrilikli

$$P_4(s, t) = \left(\frac{-\sqrt{10}}{4} \left(\frac{1}{\sqrt{10}} \left(\frac{3}{5} + 3\cos\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right) \right) \right) \cos s \right. \\ \left. + \frac{6}{5} \sin s \sin\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right) \right) \\ + t \left(\frac{\sqrt{10}}{10} \sin s \left(\cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) - \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) \right) \right. \\ \left. - \cos s \left(\cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) + \sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) \right) \right), \\ - \frac{\sqrt{10}}{4} \left(\frac{1}{\sqrt{10}} \left(\frac{3}{5} + 3\cos\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right) \right) \right) \sin s, \\ - \frac{6}{5} \cos s \sin\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right) \\ + t \left(\frac{\sqrt{10}}{10} \cos s \left(\sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) - \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) \right) \right)$$

$$\begin{aligned}
& -\sin\left(\sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) + \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right)\right), \\
& \frac{-9}{4\sqrt{10}}\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s + \sin\left(\frac{2}{\sqrt{10}}s\right)\right) \\
& +t\left(\frac{3\sqrt{10}}{10}\left(\sin\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right) + \cos\left(\frac{\sqrt{10}}{10}s\right)\right)\right)
\end{aligned}$$

yüzeyi elde edilir (Şekil 5).



Şekil 5. r(s) eğrisi boyunca ortalama eğriliği sabit olan $P_4(s, t)$ yüzeyi

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada 3 boyutlu Öklid uzayında alınan herhangi bir eğriden geçen ve bu eğri boyunca ortalama eğriliği sabit olan yüzeyler bulmak için yeterli şartlar elde edildi. İlk olarak 3 boyutlu Öklid uzayında alınan herhangi bir eğriden geçen ve bu eğriyi parametre eğrisi kabul eden yüzeyler Frenet çatusı yardımıyla parametrik olarak ifade edildi. Daha sonra 3 boyutlu Öklid uzayında alınan herhangi bir eğriden geçen ve bu eğri boyunca ortalama eğriliği sabit olan yüzeyler elde etmek için yeterli şartlar verildi. Son olarak bu şartlara uygun bazı örnekler verildi.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

[1] Wang, G. J., Tang, K., Tai, C. L. 2004. Parametric representation of a surface pencil with a

common spatial geodesic. Computer-Aided Design, 36(5), 447-459.

[2] Kasap, E., Akyıldız, F. T., Orbay, K. 2008. A generalization of surfaces family with commonspatial geodesic. Applied Mathematics and Computation, 201, 781-789.

[3] Li, C. Y., Wang R. H., Zhu C. G. 2011. Parametric representation of a surface pencil with a common line of curvature. Computer-Aided Design, 43(9), 1110-1117.

[4] Ergün, E., Bayram, E., Kasap, E. 2014. Surface pencil with a common line of curvature in Minkowski 3-space. Acta Mathematica Sinica, English Series, 30(12), 2103-2118.

[5] Bayram, E., Güler, F., Kasap, E. 2012. Parametric representation of a surface pencil with a common asymptotic curve. Computer-Aided Design, 44, 637-643.

[6] Hopf, H. 1989. Differential geometry in the large, Volume 1000 of Lecture Notes in Mathematics. Springer-Verlag, Berlin, second edition.

[7] Alexandrov, A. D. 1956. Uniqueness theorems for surfaces in the large. I. Vestnik Leningrad University Mathematical, 11(19), 5-17.

[8] Meeks, W. H., Tinaglia, G. 2016. The geometry of constant mean curvature surfaces in R^3 . arXiv, 1609.08032v1.

[9] O'Neill, B. 1966. Elementary Differential Geometry. Academic Press Inc., New York.

[10] Salkowski, E. 1909. Zur Transformation von Raumkurven. Mathematische Annalen, 66(4), 517-557.

[11] Nurkan, S. K., Güven, İ. A., Karaca, M. K. 2019. Characterizations of adjoint curves in Euclidean 3-space. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences, 89(1), 155-161.

[12] Monterde, J. 2009. Salkowski curves revisited: A family of curves with constant curvature and non-constant torsion. Computer Aided Geometric Design, 26, 271-278.

[13] Abbena, E., Salamon, S., Gray, A. 1998. Modern differential geometry of curves and surfaces with mathematica. Third Edition.

Bir Gıda Fabrikasında Enerji Verimliliğinin İyileştirilmesi

Selmin ENER RUŞEN*¹, Musab Selahaddin ÇEVİK²

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü,
Akademik Enerji Araştırma Grubu (AKEN), 70200, Karaman, Türkiye

²Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler, Akademik Enerji Araştırma
Grubu (AKEN), 70200, Karaman, Türkiye

(Alınış / Received: 18.12.2018, Kabul / Accepted: 05.07.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Enerji Verimliliği,
Gıda Fabrikası,
Enerji Etüt,
Karaman

Özet: Sanayide enerjinin verimliliği ve tasarruf edilmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada özellikle sanayide faaliyet gösteren bir gıda fabrikada enerji verimlilik incelemesi yapılmıştır. Belirlenen gıda işletmesine ait gofret üretim hattı incelenerek detaylı enerji ölçümleri yapılmış ve enerji verimliliği potansiyeli araştırılmıştır. Fabrikanın mevcut enerji durumu incelenerek enerji verimliliğinin sağlanması ve sürekli olabilmesi için çeşitli öneriler yapılmıştır. Yapılan öneriler doğrultusunda doğru yalıtım sistemi uygulaması sonucu basit geri ödeme süresi 0,25 yıl olan uygulama ile %89 ısı kaybının azaltılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca kazan sistemlerinde brülör ayarlaması ile kazan veriminin %5,2 artırılabilceği, reküparatör kullanımı, ısı kayıp ve kaçaklarının önlenmesi yoluyla yıllık 3391,9 \$ kazancın sağlanacağı belirlenmiştir. Enerji tüketimi ile oluşan CO₂ salınımı hesaplanarak işletmenin son üç yıllık çevresel etkisi incelenmiştir. Bu çalışma sonuçlarının gıda endüstrisinde tüketilen enerjinin verimli kullanılmasına ve ülkemiz ekonomisine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Improvement of Energy Efficiency in a Food Factory

Keywords

Energy Efficiency,
Food Factory,
Energy Audit,
Karaman

Abstract: The efficiency and saving of energy in the industry is extremely important. In this study, energy efficiency examination was carried out in a food factory operating especially in the industry. The wafer production line belonging to the designated food company was examined and detailed energy measurements were made and the energy efficiency potential was investigated. Various recommendations have been made to ensure energy efficiency and continuous energy efficiency by examining the current energy situation of the factory. In accordance with the recommendations made, it was determined that 89% heat loss can be reduced with the application of 0.25 years payback period as a result of the application of the correct insulation system. In addition, it has been determined that boiler yield surged by 5.2% with burner adjustment in boiler systems, and \$3391.9 annual earnings will be achieved through the prevention of a recuperator use, heat loss and leaks. The environmental impact of the enterprise over the last three years has been examined by calculating CO₂ emissions caused by energy consumption. The results of this study are expected to contribute to the efficient use of energy consumed in the food industry and to our country's economy.

1. Giriş

Sanayileşme faaliyetlerinin artması, nüfusun artması, hayat standartlarının yükselmesi ve teknolojinin gelişmesi ile birçok dünya ülkesinde enerji üretim ve tüketimi günden güne artmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre 1970-2016 yılları arasında dünya enerji üretimdeki artış yaklaşık 2 katına çıkmasına karşın Türkiye elektrik enerjisi

tüketimini son 12 yılda ikiye katlamıştır [1]. Bu artış ile birlikte fosil kaynak tüketimi ve atmosfere salınan karbondioksit (CO₂) miktarı da artmakta ve oluşan sera etkisi iklim değişikliklerine sebep olmaktadır [2]. Hükümetler arası iklim değişikliği organizasyonu (IPPC) verilerine göre, 1970-2010 yılları arası insan kaynaklı sera emisyonu miktarının da enerji üretimiyle paralel olarak artış gösterdiği anlaşılmaktadır [3]. Ülkemiz istatistik kurumunun

*İlgili yazar: selmin.enerrusen@gmail.com

2018’nda yayınlamış olduğu rakamlarına göre 2016 yılı toplam seragazi emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 496,1 milyon ton (Mt)’dur. Sektörel seragazi emisyonu incelendiğinde, %72,8 ile enerji kaynaklı emisyonlar, %12,6 endüstriyel ve ürün kullanımı, %11,4 tarımsal işlemler ve %3,3 atık sektörü olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, ülkemizde enerjinin etkin kullanımı sağlanarak israfı önlemek, ekonomiyi rahatlatmak ve çevreyi korumak amacıyla 2 Mayıs 2007 tarihinde 26510 sayılı resmî gazetede 5627 sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu (EVK)” yayınlanmıştır [4,5]. Bu alandaki diğer önemli gelişme ise 2007’ de yayınlanan EVK’un usul ve esaslarını düzenlemek amacıyla 27 Ekim 2011’ de yayınlanan 28097 sayılı “Enerji Kaynaklarını ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırmasına Dair Yönetmelik”in yürürlüğe girmesidir [5]. Son olarak Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 9/12/2017 Tarihi ve 2017/50 Sayılı Yüksek Planlama Kurulu Kararı ile 02.01.2018 tarihinde resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe alınmıştır [6,7]. Alınan bu kararlar ile ülkemizin kısa ve orta vadede enerji verimliliği hedeflerine ulaşılabilmesi için oldukça gayretli bir çalışmanın içerisine girdiği anlaşılmaktadır.

Sanayi sektöründe başlıca enerji tüketim alanları: Buhar kazanları, kompresörler, elektrik motorları, pompa sistemleri, ısıtma-soğutma sistemleri ve aydınlatma sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu alanlarda yapılacak uzun ve/veya kısa vadeli enerji verimliliği yatırımları, bilinçlendirme ve eğitim faaliyetleri ile tüketilen enerji miktarında ciddi değişimler gözlenebilir [8]. Ülkemiz genelinde sektörel dağılım olarak incelendiğinde sanayide %20, konut ve şehirleşmede %35, ulaşım sektöründe ise %15 enerji tasarrufu potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir [9,10]. Ülkemizde sanayi sektörlerine göre olası enerji tasarruf oranları incelendiğinde gıda sektöründe %25’e varan enerji tasarrufu sağlanabileceği öngörülmüştür [11]. Sanayi ve konut sektörlerinde yapılabilecek tasarruf çalışmaları; sistem yüküne uygun, yüksek verimli motor kullanımı, basınçlı hava kaçak giderimi ve uygun sistem basıncı seçimi, kompresör giriş havasının dış ortamdan alınması, ısı geri kazanım sistemi kullanımı, uygun yakıt seçimi ve verimli yakmanın sağlanması, uygun kazan seçimi veya mevcut kazan verimi artırma, yanma verim artırma amacıyla hava-yakıt oranı ayarlaması, kazan yakma havasına ön ısıtma uygulaması, yüzey yalıtımı yapılması, yeterli ve verimli aydınlatma sistemi kullanma veya kurulu sistemi revizyonu olarak sıralanmaktadır [12,13].

2. Materyal ve Metot

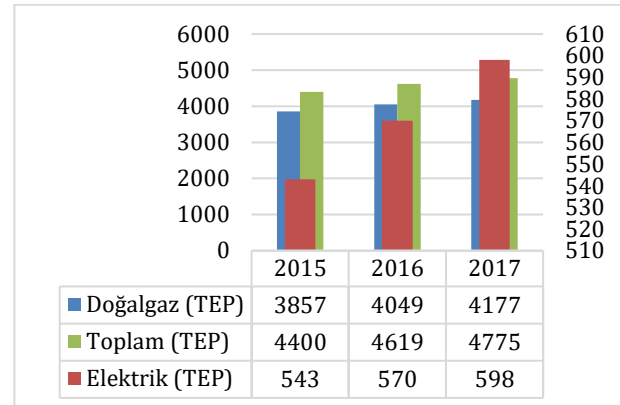
Bu çalışma kapsamında Karaman ilinde bisküvi, çikolata ve gofret üretimi yapan çeşitli işletmeler gezildikten sonra model olarak belirlenen bir gıda işletmesinde fırın, kazan ve yalıtım alanlarında enerji verimliliği ölçümü ve ölçüme bağlı iyileştirme önerileri incelenmiştir. Seçilen gıda fabrikasının

sadece gofret üretim hattına ait genel enerji tüketim ve ürün üretim bilgileri Tablo 1’de verilmiştir. Bu alınan veriler ile enerji tüketimi hesaplanmıştır.

Tablo 1’de E = TEP cinsinden işletmenin yıllık toplam enerji tüketimi ve E = 4775 TEP olduğu bulunur. Ayrıca SET (Spesifik Enerji Tüketimi) ise 1,158 kCal/kg’dır. Şekil 1’de 2015, 2016 ve 2017 yılına ait yıllık ortalama tüketilen enerjinin dağılımı verilmektedir.

Tablo 1. Seçilmiş gıda fabrikasının gofret üretim hattına ait genel enerji tüketim ve ürün üretim bilgileri [14]

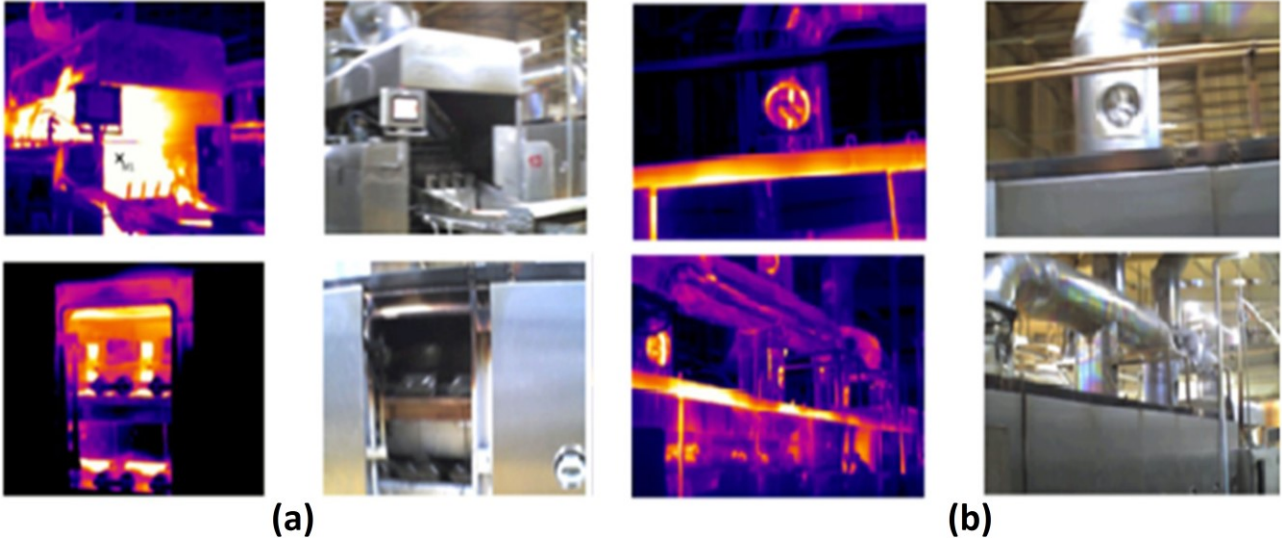
Günlük ortalama üretilen ürün miktarı	112.981,00 kg
Günlük ortalama tüketilen elektrik miktarı	19.057,00 kWh
Günlük ortalama tüketilen doğalgaz miktarı	13.724,00 Sm ³
Yıllık ortalama üretilen ürün miktarı	4.238,00 ton
Yıllık ortalama tüketilen elektrik miktarı	6.955,718 kWh (598 TEP)
Yıllık ortalama tüketilen doğalgaz miktarı	5.009,335 Sm ³ (4177 TEP)



Şekil 1. Seçilmiş gıda fabrikasının gofret üretim hattı için 2015, 2016 ve 2017 yıllarına ait ortalama tüketilen enerji dağılımı [14].

2.1. Fırın sistemi

Ölçüm alınan gofret üretim hattında 13 adet pişirme fırını bulunmaktadır. Termal kamera ile görüntülenmenin yanı sıra fırın yakıt tüketimi incelenmiş ancak işletmedeki tüm fırınlar gruplar halinde tek bir bacaya bağlı olduğundan bacagazi ölçümü gerçekleştirilememiştir. Ayrıca göz ile de kontrolü yapılan fırında tavan iç kısmında yanmalardan kaynaklı kararma ve kurum oluşumu gözlemlenmiştir. Fırın içi sıcaklığının 252 °C olduğu termal kamera ve kızılötesi termometre ile belirlenmiş ve Şekil 2-a’da görüldüğü üzere çoğunlukla açık bırakılmış olan fırın kapaklarından iç ısı kaybı gerçekleştiği ve bu ısı kaybını önleyecek bir mekanizma olmadığı belirlenmiştir. Ortam havasına gerçekleşen ısı transferinden dolayı ortam konfor şartları sağlanamamaktadır. Ayrıca Şekil 2-b’de termal



Şekil 2. Kapakları açık durumda olan fırının termal görüntülenmesi (a) ve kapakları kapalı durumdaki fırının termal görüntülenmesi (b) [14].

görüntüsü de verilen kapakları kapalı fırın hattından kapak menteşeleri tam olarak kapatılmadığından (kapaklar oturmadığından) ısı kaybı gerçekleşmektedir. Bu durum kapak izolasyonuna da zarar vermektedir. Bu durumun giderilebilmesi için fırın kapak contası (fitili) düzenli olarak kontrol edilmeli ve hasarlı olan yerler değiştirilmelidir. Fırın sistemi ile ilgili yapılan tüm ölçüm ve hesaplamalar bulgular kısmında detaylarıyla verilmiştir.

2.2. Kazan sistemi

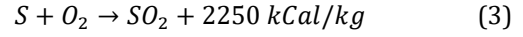
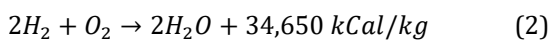
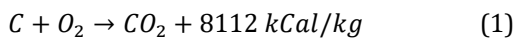
Genel tanım olarak kazan; sistem ihtiyaçları doğrultusunda gerekli-yeterli basınç, sıcaklık ve miktarda sistem türüne göre çoğunlukla doğalgaz, kömür, fuel oil gibi yakıtların yanma enerjisiyle buhar ve/veya sıcak su üreten ekipmandır [15]. Yanmanın gerçekleşmesi için yeterli miktarda havanın yakıt ile karışması ve hava ile yakıtın belirli bir sıcaklığa ulaştırılarak yanma için gerekli zamanın ayarlanması gerekmektedir. Hava miktarı yakıt türü ve kazan tasarımlarına göre değişiklik gösterirken gereğinden fazla hava ısı kaybına, yetersiz hava ise kısmi yanmaya sebep olarak her iki durumda da verimsizliğe neden olur [16].

Tam yanma gerçekleşmesi durumunda, yakıtta bulunan gazlar Tablo 2'de verilmiştir.

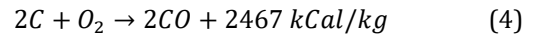
Tablo 2. Tam yanma gerçekleşmesi durumunda yakıtta bulunan gazlar

Karbon	C	Kükürt	S
Karbondioksite	CO_2	Kükürt-dioksite	SO_2
Hidrojen	H_2	Azot	N
Su buharı	H_2O	Azot oksite	NO_x

Yanma denklemleri;



Yanmanın tam gerçekleşmemesi durumunda ise karbondioksite dönüşmesi gereken karbon oksijenin yetersiz olması sebebiyle karbonmonoksite dönüşerek %70 oranında enerji kaybına sebep olur. Eksik yanma denklemi [17];



Bu nedenle yakıt-hava oranının doğru belirlenmesi yanma verimi dolayısıyla da verimlilik için önem arz etmektedir [16]. Yeterli sıcaklıkta olmayan yanma gazları kazanda kurum ve gaz oluşumuna sebep olacağı gibi yanlış belirlenmiş yanma zamanının da kazandan yüksek miktarda yanmamış yakıt atımına sebep olarak hem yanma verimini hem de kazan verimi düşürecektir. Bu durumların analiz edilebilmesi için en önemli yöntem periyodik bacagazı ölçümleridir [18].

Kazanlarda en çok aranan özellikler ise süreklilik, ucuz ve kaliteli ısı enerjisi üretimi olarak belirtilebilir. Burada süreklilik kazan ömrü boyunca ortaya çıkabilecek olumsuz durumların minimum olması durumudur. Süreklilik ve kalite durumları kazan sistemlerinde birbirlerini tamamlar şekilde olmalıdır. Şöyle ki kazandan beklenen kaliteli buharın değişen giriş ve çıkış koşullarından etkilenmeksizin ısıl gücün, verimin ve buhar özelliklerinin sürekli olarak kazan değerlerine göre belirlenmiş değerlerde (seviyelerde) tutulmasıdır [15].

Kazanlar, yüksek sıcaklık ve basınç şartlarında çalıştığından yıpranmanın sıkça rastlandığı endüstriyel ekipmanlardır. Yıpranma sonucunda bir arıza veya kaza oluşumunu engellemek amacıyla kazanlar periyodik olarak içten ve dıştan kontrol edilmelidir. Kazanlarda yıpranmanın bazı sebepleri aşırı ısınma, korozyon, erozyon, mekanik aşınma şeklinde sıralanabilir [18-20].

Kazan dış kontrolleri yapılırken kazanın çalışır durumda olması kazanın durgun haldeyken fark edilmeyecek aksaklıklarını fark etme açısından yarar sağlayabilir. Kazan temelleri, mesnetler, yanma odası duvarları, boru bağlantıları dış kontrol sırasında gözlemlenerek olası kaçak veya arızalar tespit edilebilir. İç kontroller ise gerekli kapatma önlemleri alındıktan ve bir önceki kontrol sonuçları incelendikten sonra yapılmalıdır. Dramlar, su kolektörleri, kızdırıcı kollektörleri, yanma odası kaplaması, kazan boruları, tüpleri ve flanşları, perdeler (baffles), çekiş damperleri, bacalar iç kontrol sırasında gözlemlenir [21].

İdeal bir kazan; basit yapısının yanı sıra, ısının akışkana en yüksek verimli geçişini sağlayacak malzemeden üretilerek, yeterli akışkan boşluğuna ve verimli yanma özelliğine sahip olmalıdır. Bunların yanı sıra hem kurulum hem de işletme sırasında oluşabilecek sorun ve kazalara karşı güvenlik önlemi olan emniyetli bir yapıda olmalıdır [16].

Kazan sistemlerinde verimi etkileyen parametreler [21]; yanma verimi ve yakıt türü, bacagazından su buharı ve kuru hava nedeniyle olan ısı kayıpları, hava-yakıt oranı ve fazla hava miktarı, bacagazı sıcaklığı, kazan yükü, buhar basıncı, ısıtma yüzeyi kirliliği, kazan yalıtımı ve yüzey ısı kaybı, blöf ısı kaybı, besi suyu sıcaklığı, yanma havası sıcaklığı, kazan boru tesisatı yalıtımı ve yalıtım kalitesi, kondens geri kazanımıdır.

İşletmede ısıtma yüzey alanı 40 m² olan buhar kazanı kullanılmaktadır. Kazanda yüzey blöfü uygulamasının elle yapılmakta olduğu personeller tarafından bildirilirken kazan alt blöfünün zaman sayaçlı ve otomatik olduğu tarafımıza iletilmiştir. Ayrıca gözle yapılan muayenelerde kazan yalıtımında yıpranmalar olduğu ve bağlantı borularında da hasarlar olduğu gözlemlenmiştir. Kazan 24 saat çalıştığından dolayı kazan iç yüzeylerinde kontrol gerçekleştirilememiştir. Ayrıca ölçümler gerçekleştirildiği sırada kazan tam yükte çalışmamaktadır.

2.3. Yalıtım

Endüstriyel alanlarda yapılan ısı yalıtımında asıl amaç; proses ve yapılardan kaynaklı ısı kaybını azaltmaktır. Yalıtım aynı zamanda gürültüyü azaltarak ve yüzey sıcaklığını optimize ederek tesisin daha güvenli işletilmesine katkı sağlanmış olur. Yalıtım amacıyla kullanılan malzemelerde; farklı sıcaklık uygulamalarına uyumluluk, fiziksel olarak uygun mukavemet, basma ve mekanik mukavemeti yüksek, çevreyi kirlilemez yapıda olmak, yanma direnci yüksek, korozyon dayanımı yüksek, kolay uygulanabilir, kimyasal direncin yüksek olması gibi özellikler aranmaktadır [23,24].

Endüstriyel tesislerde ısı yalıtım uygulamaları; ekipman, boru sistemleri ve bina yalıtımı olarak 3

başlık altında incelenmektedir. Ekipman yalıtımı; kazan, tank, kanal, baca, fırın gibi yüksek sıcaklık noktalarının olduğu durumların tümü olarak adlandırılabilir [25]. Ekipman yalıtımında dikkat edilmesi gereken nokta yalıtım kalınlığı, doğru yalıtım malzemesi seçimi ve montajın doğru ve özenli yapılmasıdır. Bina yapı yalıtımı; yönetmelikte belirtilen katsayılara göre belirlenmiş malzemelerin uygun kalınlık seçimi ile zorunlu olarak uygulanması gereken yalıtımdır. Bina yalıtımı ile yazın gerçekleşebilecek ısı kazanç ile kışın gerçekleşecek ısı kayıplar engellenir ve böylece iklimlendirme sistemleri üzerindeki yük azaltılarak tasarruf sağlanır [25].

İnceleme yapılan gıda fabrikasında proseslerde kullanılmak amacıyla buhar kazanları tarafından sağlanan buhar ve sıcak su hatları ve bu hatların kazan ve prosese bağlandığı kısımların yalıtılması enerjinin verimli kullanılabilmesi için önem arz etmektedir. Yalıtımsız olan ya da yalıtımı deforme olmuş olan vana, boru, flanş gibi elemanlardan önemli ölçüde ısı enerjisi kaybı gerçekleşmektedir. Hem yapılarda hem de endüstriyel proseslerde bakıma engel olacağı düşüncesi sebebiyle yalıtım tercih edilmemektedir. Ancak doğru bir şekilde yapılmış yalıtım korozyon ve deformasyona karşıda koruma sağlamaktadır. Yalıtım ile ilgili ölçüm ve hesaplamalar bulgular ve tartışma bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kazan sistemleri

Karaman bölgesinde bir gıda işletmesinin gofret üretim hattına buhar sağlayan kazan sisteminde detaylı ölçümler yapılarak enerji verimliliği analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te ölçümleri alınan kazan sistemine ait termal ve gerçek görüntüler ile ısı kayıplarının yerleri tespit edilmiştir. Termal kamera ile yapılan ölçüm sonucu elde edilen kazan ön ve arka yüzeyi termal ve gerçek görüntüsü verilmiştir. Bu ölçüm sonucunda kazanın yüzey sıcaklığı ile ilgili ortalama sıcaklık verileri elde edilerek aşağıda detayları ile verilen hesaplamalarda kullanılmıştır. Ancak hesaplamada kullanılan ölçümler yapılırken kazanın tam yükte çalışmadığı ilgili personel tarafından belirtilmiştir.

3.2. Bacagazı ölçümü ve kazan verimi

Seçilen işletmeye ait buhar kazanının bacasından atmosfere atılan bacagazı içerisindeki atık gaz yüzdeleri ve sıcaklığı ölçümü Testo Bacagazı Emisyon Cihazı (Testo-350) ile yapılmıştır. Kazan yüzey sıcaklıkları Testo Termal Kamera (Testo-875-2i) ile ölçülmüştür. Sadece kazana ait doğalgaz sayacından 10 dakikada geçen tüketim miktarı tespit edilerek bir saatteki gaz tüketimi hesaplanmıştır. Bacagazı analiz cihazı ile kazan bacasında ölçüm için bulunan delik kullanılarak ölçümler alınmıştır. Aynı delik pitot

tüpüyle hız ölçümü içinde kullanılmıştır. Alınan ölçümler ve yapılan kayıp hesaplamaları aşağıda verilmiştir. Tablo 3’de yapılan kazan ölçüleri ve ortalama sıcaklık değerleri verilmektedir.

Tablo 4. Ortalama bacagazı ölçüm değerleri [14]

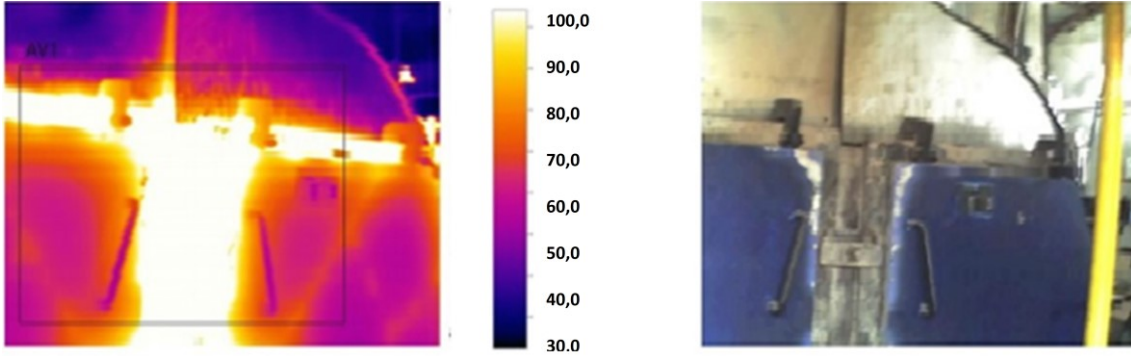
Ölçülen Değerler	Birim	Değer
Bacagazı Sıcaklığı	°C	113,9
O ₂ miktarı	%	14,41
CO oranı	ppm	821
Ortam Sıcaklığı	°C	20

Ayrıca besi suyu iletkenliği ($\mu\text{S}/\text{cm}$ veya ppm): 501,43 $\mu\text{S}/\text{cm}=351$ ppm (ppm=0,7* $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve Buhar basıncı

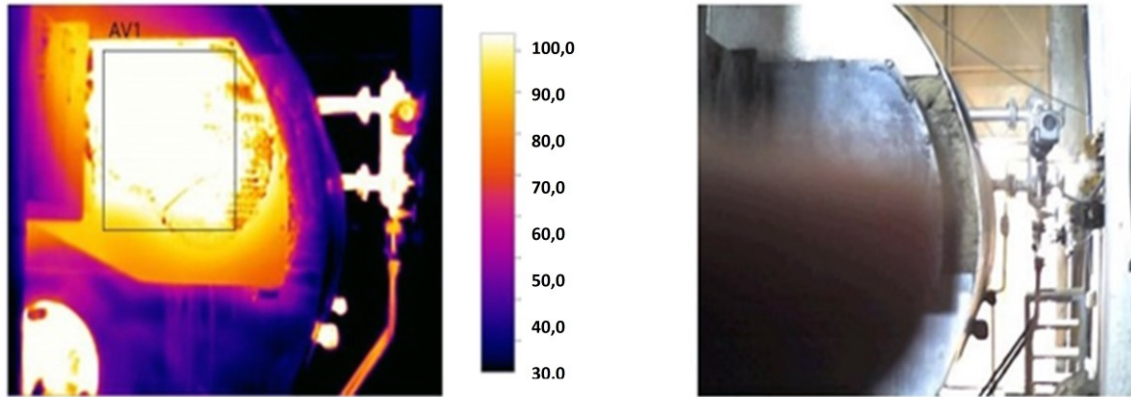
(bar): 8 bar olarak ölçülmüştür. Kazan ile ilgili hesaplamalarda kullanılan değerler Tablo 4’te bacagazı ölçümleri ve Tablo 5’de ise yakılan doğalgaza ait değerler tablo halinde verilmektedir.

Tablo 5. Yakıt ile ilgili değerler

Doğalgaz Değerleri	Birim	Değer
Yakıt Tüketimi	m ³ /saat	36,48
Karbon	%	71,06
Hidrojen	%	22,80
Alt Isıl Değeri	kCal/Nm ³	8420,355
Üst Isıl Değeri	kCal/Nm ³	9237,63
Özgül Ağırlığı	Kg/Nm ³	0,61018
(CO ₂) _{max}	%	11,74



Ölçüm Nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. Sic. [°C]
Ortalama Alan 1	94,8	0,89	20,0



Ölçüm Nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. Sic. [°C]
Ortalama Alan 1	110,5	0,89	20,0

Şekil 3. Kazan ön ve arka yüzeyi termal ve gerçek görüntüsü [14].

Tablo 3. Kazan ölçüleri ve ortalama sıcaklık değerleri [14]

Yüzey	Çap	Uzunluk	Alan Hesabı	Alan	Ortalama
Ön	2,4 m	3,5 m	πr^2	4,52 m ²	94,8 °C
Arka	2,4 m	3,5 m	πr^2	4,52 m ²	110,5 °C
Sol Yan	2,4 m	3,5 m	πrL	15,83 m ²	60,0 °C
Sağ Yan	2,4 m	3,5 m	πrL	15,83 m ²	60,0 °C

3.3. Isı kayıpları hesabı

3.3.1. Kuru bacagazı yoluyla olan ısı kaybı (L_{KBG})

Sistem içerisinde kuru bacagazı yoluyla oluşan ısı kayıplarının hesaplanmasında kullanılan denklem 5'te verilmiştir. CO_2 hesaplarında ise denklem 6 kullanılmıştır. Toplam kuru bacagazı ısı kaybı %7,74 olarak bulunmuştur.

$$L_{KBG} = \frac{K * (T_{BG} - T_0)}{CO_2} \quad (5)$$

$$* \frac{\text{Yakıtın üst ısı değeri}}{\text{Yakıtın alt ısı değeri}}$$

$$CO_2 = \left(1 - \left(\frac{O_2}{21}\right)\right) * (CO_2)_{max} \quad (6)$$

$$K = \frac{69,7 * C_{yakıt} * (\text{yakıt alt ısı değeri})^2}{(\text{yakıt üst ısı değeri})^3} \quad (7)$$

$$L_{KBG} = \% 7,74 \quad (8)$$

3.3.2. Bacagazındaki nem nedeniyle olan ısı kaybı (L_{NBG})

Bacagazındaki nem yoluyla oluşan ısı kayıplarının hesaplanmasında kullanılan denklem 9 olarak verilmiştir. Toplam bacagazındaki nem nedeniyle ısı kaybı %1,31 olarak bulunmuştur.

$$K_{NBG} = \frac{(9 * H_2) * (50,00 - T_0 + (0,50 * T_{BG}))}{\text{yakıt alt ısı değeri}} \quad (9)$$

$$L_{NBG} = \% 1.31$$

3.3.3. Bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı (L_{COBG})

Sistem içerisinde bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı hesaplanmasında kullanılan denklem 10'da verilmiştir. Toplam bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı %0,76 olarak bulunmuştur.

$$L_{COBG} = \frac{K_2 * CO_{BG}}{CO_2 + CO_{BG}} \quad (10)$$

$$* \frac{\text{Yakıtın üst ısı değeri}}{\text{Yakıtın alt ısı değeri}}$$

K_2 değeri Doğalgaz için 32'dir.

$$L_{COBG} = \% 0,76 \quad (11)$$

$$L_{COBG} = \% 0,76$$

3.3.4. Kazan yüzeyinden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı (L_{RK})

Termal kamera ile kazan yan yüzeyleri, arka ve ön yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Tablo 3 kazan ölçüleri ve ortalama sıcaklık değerleri tablosunda verilmiştir.

$$L'_{RK} = (U_r + U_c) * A * (T_{yüzey} - T_{ortam}) \quad (12)$$

$$U_r = \frac{E * 5,67}{(T_{yüzey} - T_{ortam})} * \left[\left(\frac{T_{yüzey}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ortam}}{100} \right)^4 \right] \quad (13)$$

$$U_c = B * (T_{yüzey} - T_{ortam})^{0,25} \quad (14)$$

Bu eşitliklerde, emittivite katsayısı (E): 0,77 olarak, yatay silindirik yüzey için B : 1,20 olarak alınmış ve yakıt tarafından verilen ısı: yakıt tüketimi ve yakıt alt ısı değeri çarpımıyla elde edildikten sonra kullanılmıştır. Termal kamera ile kazan yan yüzeyleri, arka ve ön yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Tablo 3'te bulunan ve hesaplanan U_r (radyasyon ile olan ısı iletim katsayısı) ve U_c (konveksiyonel ısı iletim katsayısı) değerleri ise Tablo 6'de verilmiştir. Kuru bacagazı yoluyla olan ısı kaybı, bacagazındaki nem nedeniyle olan ısı kaybı, bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı, kazan yüzeyinden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı, blöf nedeniyle olan ısı kaybı, toplam ısı kaybı ve kazan verimi formül ve detayları ile verilerek hesaplanmıştır [26].

$$L'_{RK} = 18.318,34 * 0,860 = 15753,77 \text{ kcal/saat} \quad (15)$$

$$L_{RK} = \frac{L'_{RK}}{\text{Yakıt tarafından verilen ısı}} \quad (16)$$

$$L_{RK} = \frac{15753,77}{307174,55} * 100 = \% 5,13 \quad (17)$$

3.3.5. Isı kayıpları toplamı (L)

Sistem içerisinde oluşan toplam ısı kaybı denklem 18'de yer almaktadır. Bu denklem; kuru bacagazı yoluyla oluşan ısı kayıpları, bacagazındaki nem yoluyla oluşan ısı kayıpları, bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı ve kazan yüzeyinden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı toplamı olarak verilmiştir.

$$L = L_{KBG} + L_{NBG} + L_{COBG} + L_{RK} \quad (18)$$

3.3.6. Blöf nedeniyle olan ısı kaybı

Blöf, buhar kazanı içerisinde buharlaşma sonucunda konsantrasyonu artan çözünmüş veya çözünmemiş katı madde miktarının kazan için belirlenen seviyede kalabilmesi için kazan suyunun bir kısmının sistemden uzaklaştırılması işlemine denir. Blöf miktarının (BM) hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır. Burada T_B Blöf Sıcaklığı, T_{H2O} ise besi suyu sıcaklığıdır.

$$BM = \frac{\text{Besi suyu iletkenliği}}{\text{Kazan suyu iletkenliği}} \times 100 \quad (19)$$

$$L_B = \frac{(T_B - T_{H2O}) * BM * (100 - L)}{\left((T_B - T_{H2O}) * BM \right) + \left((100 - BM) * (660 - T_{H2O}) \right)} \quad (20)$$

$\frac{\text{Yakıtın üst ısıl değeri}}{\text{Yakıtın alt ısıl değeri}}$

3.3.7. Toplam ısı kaybı (L_{Toplam})

Toplam ısı kaybı kuru bacagazı yoluyla olan ısı kaybı, bacagazındaki nem nedeniyle olan ısı kaybı, bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit nedeniyle olan ısı kaybı, kazan yüzeyinden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı ısı kayıpları toplamından gelen L ve blöf kaybının LB toplamından elde edilir. Bu sistem için %16,45 olarak bulunmuştur.

$$L_{Toplam} = L + L_B = \% 16,45 \quad (21)$$

Tablo 6. Hesaplanan Ur ve Uc değerleri [14]

Yüzey	Ort. Yüzey Sıcaklığı (K)	U _r (W/m ² K)	U _c (W/m ² K)	U _r + U _c (W/m ² K)	(U _r +U _c)*A _r /(T _r -T _c) (W)
Ön	367,8	6,38	3,53	9,91	3352,91
Arka	383,5	6,88	3,70	10,58	4331,83
Sol Yan	333,0	5,38	3,02	8,39	5316,80
Sağ Yan	333,0	5,38	3,02	8,39	5316,80
Toplam					18318,34

3.4. Kazan verimi hesabı

Toplam Kazan verimini toplam ısı kaybı denkleminin 100'den çıkarılması ile elde ederiz. Buna göre sistemdeki buhar kazanı %83,55 verim ile çalışmaktadır. Bu sistemin gereken verimlilik artırıcı önlemler ve tadilatlar ile verimini artırılabilirliği öngörülmüştür.

$$\text{Verim} = 100 - L_{Toplam} = \% 83,55 \quad (22)$$

3.5. Fazla hava oranı hesabı

Sistemdeki fazla hava oranı hesaplamalarında bacagazı ölçüm değerlerinden elde edilen O₂ verisi kullanılmaktadır.

$$\text{Fazla Hava Oranı} = \frac{O_2}{(21 - O_2)} * 100 \quad (23)$$

$$= 1 + \frac{\text{Hava Fazlalık Katsayısı} (\lambda)}{\frac{\text{Fazla Hava Oranı}}{100}}, \quad \lambda = 3,19 \quad (24)$$

Literatürde doğalgaz kullanılan kazanlar için bacagazı analizinde O₂ miktarının optimum %2-4 arasında ve CO₂ miktarının %9-11 arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir [17,27,28]. Bu durumda fazla hava oranı hesaplamasını O₂ miktarının %4 olduğu varsayılarak yaparsak;

- Kuru bacagazıyla olan ısı kaybı $L_{KBG} = \%3,00$
- Bacagazındaki yanmamış karbonmonoksit yoluyla olan ısı kaybı $L_{COBG} = \%0,30$
- Toplam ısı kaybı (L_{Toplam}) ve verim ise:

$$L_{Toplam} = L_{KBG} + L_{NBG} + L_{COBG} + L_{RK} + L_B \quad (25)$$

Verim=%88,75, Fazla hava oranı=%23,53 ve Hava Fazlalık Katsayısı (λ)=1,24 olarak bulunmuştur.

Yapılan hesaplamalarda görüldüğü üzere brülör ile yapılabilecek O₂ miktarı optimizasyonu ile %83,55 olan kazan verimi %88,75'e yükselmiştir. Bu verimlilik artışıyla gerçekleştirilen yakıt tasarrufu ve finansal karlılığı;

$$\text{Yakıt Tasarrufu} = \text{Yakıt Tüketimi} * \left[1 - \left(\frac{\text{İlk Verim}}{\text{Son Verim}} \right) \right] \quad (26)$$

$$\text{Tasarruf} = \text{Yakıt Tasarrufu} * \text{Yakıt Birim Fiyatı} \quad (27)$$

Yakıt Tasarrufu= 2,14 m³/saat ve toplam tasarruf yıllık 18746,4 m³ yakıt tasarrufu ile finansal olarak 5998,85 \$ tasarruf edilecektir.

3.6. Yalıtım hesabı

Kazan ve fırın ünitesi, buhar dağıtım hattındaki sıcaklıklarının termal kamera ile ölçülmesi sonucunda yalıtım ile ilgili kaçaklar ve enerji kayıpları kolayca tespit edilmiştir. Boru yalıtımı bağlantı ve iletim ekipmanlarından gerçekleşen ısı kazanç veya kayıpları engellemek için uygulanmaktadır. Yalıtımsız flanştan gerçekleşecek ısı kaybının yine aynı çap ve yüzey sıcaklığına sahip 0,5 m uzunluklu yalıtımsız borudan gerçekleşecek ısı kaybına eş değer olduğu hesaplamalar sonucunda görülmektedir [29].

Boru hatları üzerindeki vana, pislik tutucu gibi ekipmanlarda oluşan kayıpları azaltmak için her ekipmana uygun tasarım ve montajı yapılabilen yalıtım ceketleri mevcuttur [29].

İncelenen fabrikada ısı kayıplarının belirlenebilmesi için Testo 875 X2i model Termal Kamera kullanılmıştır. Termal kamera ile alınan ölçümler IRSoft yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve her bir yüzeyin sıcaklık değerleri ayrı ayrı belirlenmiştir. İşletme bünyesinde alınan bazı termal kamera görüntüleri sıcaklık skalaları ve gerçek görüntüleri ile birlikte Şekil 4’de verilmiştir.

Fırın, kazan ve buhar hattında bulunan vanalarda yalıtım uygulaması öncesinde yüzeylerden gerçekleşen ısı kaybı miktarı silindirik ve düzlemsel yüzeyler dikkate alınarak ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Öncelikle, buhar hattındaki vanalar için yalıtım hesabı yapmak üzere kazan sistemine bağlı bulunan farklı türdeki vanalar ve adetleri belirlenmiştir (Tablo 7). Bu vanalardan bazıları Şekil 4’de görülmektedir. Vanalar için yapılan ısı kaybı hesabında; bağlı bulunduğu boruya flanş ile bağlantı yapılmış yalıtımsız bir vanadan olan ısı kaybı aynı çapta ve yüzey sıcaklığında 2,5m uzunluğunda yalıtımsız borudan olan ısı kaybına eş değer olduğu kabulünden hareket edilmiştir [30,31].

Tablo 7. Kazan sistemine bağlı vana ölçüleri ve sayısı [14]

Vana Ölçüsü	Dış Çap (mm)	Vana Sayısı	Cidar Kalınlığı (mm)	İç Çap (mm)
1 ^{1/2} DN 40	48,3	7	3,7	40,9
3” DN 80	88,9	5	5,5	77,9
6” DN 150	168,3	3	7,1	154,1

Silindirik yüzeylerden gerçekleşen ısı kaybı hesaplamalarında kullanılan eşitlikler aşağıda verilmektedir [32];

$$U_c = B * \left(\frac{T_s - T_a}{d_1} \right)^{0,25} \quad (28)$$

$$U_r = E * 5,67 * 10^{-8} * [T_s^2 + T_a^2] * (T_s - T_a) \quad (29)$$

$$Tasarruf = Yakıt Tasarrufu * Yakıt Birim Fiyatı \quad (30)$$

$$Q_{y\ddot{o}} = (U_r + U_c) * \pi d_1 * (T_s - T_a) \quad (31)$$

$$Q_{ys} = \frac{\pi * (T_s - T_a)}{\sum R} \quad (32)$$

Burada, $Q_{y\ddot{o}}$: Yalıtım öncesi ısı kaybı (W/m), Q_{ys} : Yalıtım sonrası ısı kaybı (W/m), U_c : Konveksiyon ile ısı transfer katsayısı (W/m²K), U_r : Radyasyon ile olan ısı transferi katsayısı (W/m²K), T_s : Yüzey sıcaklığı, T_a : Ortam sıcaklığı, B : Çarpım faktörü, E : Emisivite, d_1 : Boru dış çapı (m), d_2 : Yalıtım sonrası dış çap (m),

ve λ yalıtım malzemesi ısı iletkenliği (W/mK), U_{so} : Yüzeysel ısı transfer katsayısıdır (W/mK).

Tablo 8. Farklı yüzey rürü ve yönlendirmesine göre B değerleri [31]

Yüzey Türü	B Değeri
Dik Yüzey	1,45
Yatay Yüzey	Üst Kısım 1,7 Alt Kısım 0,85
Yatay Silindir	1,2

İzolasyonun 25 mm kalınlığında ısı iletkenliği 0,044 W/mK taşıyıcı vana ceketini kullanılarak yapılması tasarlanmıştır. Bu sebeple, hesaplamalarda toplam izolasyon kalınlığı 50 mm olarak alınmıştır. Böylece, yalıtım sonrası dış çap (d_2) değerleri d_1+50 mm olacak şekilde hesaplanmıştır. Yukarıda verilen eşitlikler yardımıyla yapılan vana ceketini uygulaması hesabı sonrasında gerçekleştirilecek enerji tasarrufu miktarı Tablo 11’de verilmiştir. Hesaplamalarda E (Emisivite): 0,89 olarak B (Çarpım Faktörü): 1,2 olarak, vana ceketini ısı iletkenlik Katsayısı: 0,044 W/mK olarak kabul alınmıştır.

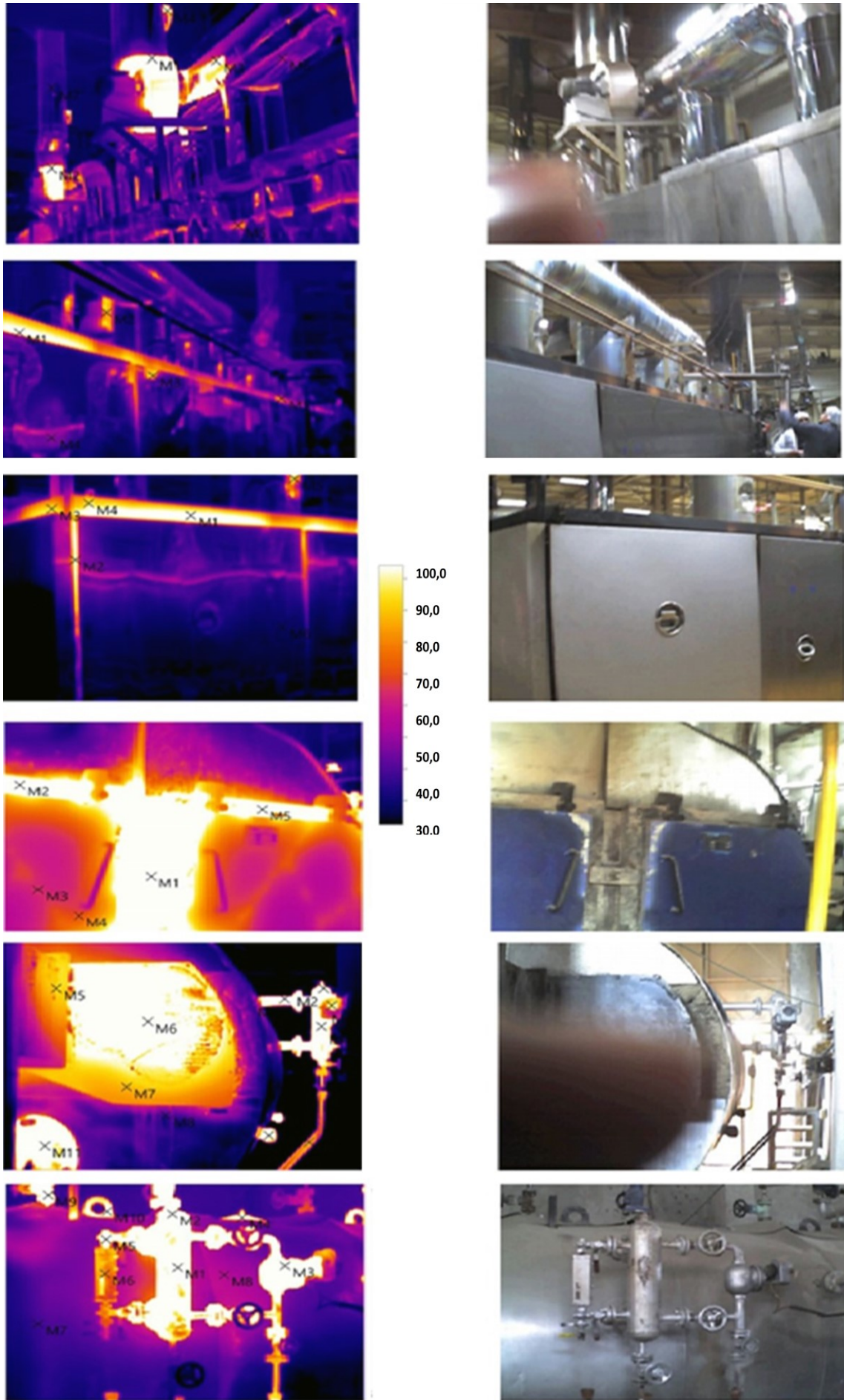
Tablo 9. Vana ceketini uygulaması ile gerçekleştirilecek tasarruf değeri hesabı (T_s : Vana yüzey sıcaklıkları ortalama değer olarak alınmıştır) [14]

Vana Ölçüsü	DN40	DN80	DN150
T_s (K)	388,60	387,00	390,30
T_a (K)	293,00	293,00	293,00
U_c (W/m ² K)	7,67	6,55	5,63
U_r (W/m ² K)	8,69	8,63	8,76
$Q_{y\ddot{o}}$ (W/m)	237,29	398,53	740,72
Q_{ys} (W/m)	38,44	59,11	103,93
Q_{fark} (W/m)	198,85	339,42	636,79
$Q_{eşdeğer Toplam Tasarruf}$ (W)	3479,91	4.242,78	4.775,96
Tüm vanalar için toplam Enerji Tasarrufu (W)	12498,66		

Tablo 10’da farklı vana ölçülerine göre verilmiş vana ceketleri fiyatları dikkate alındığında vana ceketini uygulaması maliyeti 585,5 USD (09/08/2018 USD kuru: 5,28 TL) olarak belirlenmiştir (Tablo 11). Bu tutara ek olarak 300 USD keşif ve montaj masrafı eklenerek toplam maliyet 885,5 USD olarak belirlenmiştir.

İşletmede incelenen buhar kazanı ünitesinin tam kapasite olarak 365 gün 24 saat esasına göre kesintisiz olarak çalıştığı varsayılarak yapılan hesaplamalarda dış ortam sıcaklığı (T_a) buhar kazanı ünitesinin bulunduğu ortamın sıcaklığı olarak 20 °C ölçülmüş ve yıl boyunca bu sıcaklıkta sabit kaldığı kabul edilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir (Tablo 11).

Vana Yalıtımı için Basit Geri Ödeme Süresi 0,25 yıl olarak bulunmuştur. Diğer taraftan fırın ve kazan yüzeyleri üzerindeki yalıtım uygulamaları Düzlem Yüzeylerde yapılan ısı kaybı hesaplarında kullanılan eşitlikler yardımıyla çözümlenebilmektedir [32].



Şekil 4. Fırın ve kazana ait termal kamera görüntüleri [14].

Tablo 10. Vana çeketi fiyatları [33]

Vana Ölçüsü	Vana Adedi	Adet Fiyatı (USD)	Toplam (USD)
DN 40	7	32,5	227,5
DN 80	5	41,0	205,0
DN 150	3	51,0	153,0
Keşif ve Montaj Bedeli			300,0
Toplam Yatırım Maliyeti			885,5

Tablo 11. Isı kaybı ve tasarruf tutarları

Kullanılan Doğalgaz Alt Isıl Değeri (kcal/m ³)	8364,26
Doğalgaz Birim Fiyatı (USD/m ³)	0,32
Toplam Isı Kaybı (W= Joule/s)	12498,66
Toplam Isı Kaybı (Kcal/h)	10764,39
Toplam Isı Kaybı Yakıt Eşdeğeri (m ³ /h)	1,28
Toplam Isı Kaybı Yakıt Eşdeğeri (m ³ /yıl)	11273,69
Yıllık Tasarruf Tutarı (USD/yıl)	3607,58
Yatırım Maliyeti (USD)	885,5

$$U_c = B * (T_s - T_a)^{0,25} \quad (33)$$

$$U_r = \frac{E * 5,67}{(T_s - T_a)} * \left[\left(\frac{T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right] \quad (34)$$

$$Q_{y\ddot{o}} = (U_r + U_c) * A * (T_s - T_a) \quad (35)$$

$$Q_{ys} = A * (T_s - T_a) / \sum R \quad (36)$$

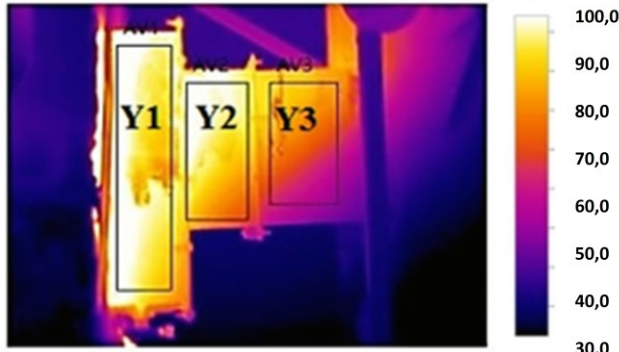
$$\sum R = \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a} \quad (37)$$

$$Enerji \text{ Tasarrufu} = Q_{y\ddot{o}} - Q_{ys} \quad (38)$$

Burada L (m) yalıtım malzemesi kalınlığı, α_d (W/mK) konveksiyon ısı iletim katsayısı ve λ (W/mK) yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısıdır.

Şekil 4'de verilen termal görüntülerden anlaşılacağı üzere fırın hattının yan ve üst yüzeyleri 40-60 °C civarında sıcaklıklara sahip olduğundan ek bir yalıtım uygulamasına ihtiyaç duymamaktadır. Ancak, daha öncede bahsedildiği gibi fırın hattından kapak menteşeleri tam olarak kapatılmadığından ısı kaybı gerçekleşmekte ve bu durum kapak izolasyonuna da zarar vermektedir. Bu bölgelerin sürekli kontrol altında tutularak kapak contalarının değiştirilmesi yoluyla enerji tasarrufu yapılması mümkündür. Ayrıca, ilerleyen zamanlarda yüzey sıcaklık değerlerinin aşırı yükselmesi durumunda yalıtımlarının yenilenmesi yoluyla enerji tasarrufu sağlanması da mümkün olabilir.

Kazan sistemine bakıldığında ise, özellikle kazanın arka baca bağlantısı kısmında önemli bir ısı kaybının olduğu Şekil 5'te verilen termal görüntüden anlaşılmaktadır. Bu bölgenin termal görüntüsündeki yüzeylere ait ölçüm değerleri Tablo 12'de verilmiştir. Kazanın baca bağlantısı kısmına ait ölçümlerden yola çıkılarak yukarıdaki eşitlikler yardımıyla yapılan hesaplamalar sonucunda bu kısımdaki ısı kaybının yıllık tutarı ise Tablo 13'de verilmiştir.

**Şekil 5.** Seçilmiş yüzeylerin termal ve gerçek görüntüsü [14].**Tablo 12.** Düzlemsel yüzeylerden olan ısı kaybı [14]

		Konveksiyonla Isı Transferi					Radyasyonla Isı Transferi			
		L1	L2	A _{Toplam}	T _s (K)	T _a (K)	B	U _c	E	U _r
Kazan	Y1	0,15	0,80	0,48	372,30	293,00	1,45	4,32	0,89	7,536
Baca	Y2	0,20	0,50	0,40	367,90	293,00	1,45	4,26	0,89	7,377
Bağlantısı	Y3	0,35	0,50	0,70	347,00	293,00	1,45	3,93	0,89	6,661

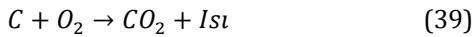
Tablo 13. Belirlenen yüzeylerden gerçekleşen ısı kaybı yıllık tutarı [14]

	Q _{yö} (W)	Q _{ys} (W)	Q _{fark} (W)	Yıllık Kayıp Tutarı (USD/yıl)
Y1	451,54	48,47	403,07	114,65
Y2	348,82	38,15	310,67	88,19
Y3	400,38	48,13	352,24	100,19
Toplam	1200,74	134,75	1065,01	303,03

Buhar kazanının yine tüm yıl boyunca tam kapasite ile çalıştığı, dış ortam sıcaklığının (T_a) yıl boyunca 20 °C sıcaklıkta sabit kaldığı ve yalıtım malzemesi olarak 5 cm taşünü ile izole edildiği kabul edilerek yapılan hesaplamalara göre, yaklaşık 1.5 m²'lik bir alanın yalıtılması ile elde edilebilecek yıllık toplam enerji tasarruf miktarı 1065 W ve bunun karşılığında 303,03 USD olarak hesaplanmıştır. Burada ki değerlerden de anlaşılacağı üzere sistem yalıtımsız durumda iken gerçekleşen ısı kayıpları sebebiyle enerji sarfiyatı yüksektir ve enerji boşa harcanmaktadır. Vanalarda gerçekleşen yalıtım sonrası ısı kaybı değerleri Tablo 9'da ve belirlenen yüzeylerden gerçekleşen ısı kaybı değerleri ise Tablo 13'de özetlenmiştir.

3.7. CO₂ Salınımı

Özellikle fosil kaynaklı yakıtların yanması sonucunda açığa çıkan CO₂ temel sera gazı olarak kabul edilir. CO₂ salınımının artmasıyla beraber atmosferde ısı geçişleri artmaktadır. İncelediğimiz işletmede yakıt olarak kullanılan doğalgazın yanması sonucu gerçekleşen CO₂ salınımı hesap yöntemi ve yıllık CO₂ salınım miktarı aşağıda verilmiştir. Seçilen gıda işletmesinin gofret üretim hattında yıllık tüketilen yakıt miktarları ve bu yakıtlardan kaynaklı CO₂ salınımı aşağıdaki gibi hesaplanarak, elde edilen değerler ile birlikte Tablo 14' te verilmiştir.



C (karbon) ve O (oksijenin) atom kütleleri sırasıyla 12 ve 16'dır. Buradan CO₂ (karbondioksit) atom kütlesi 44 olarak hesaplanır. Doğalgaz içerisinde bulunan sabit C (karbon) oranı %71,09 olarak belirlenmiştir. Doğalgazın 1 Sm³'nün yanması ile oluşacak CO₂ [34,35];

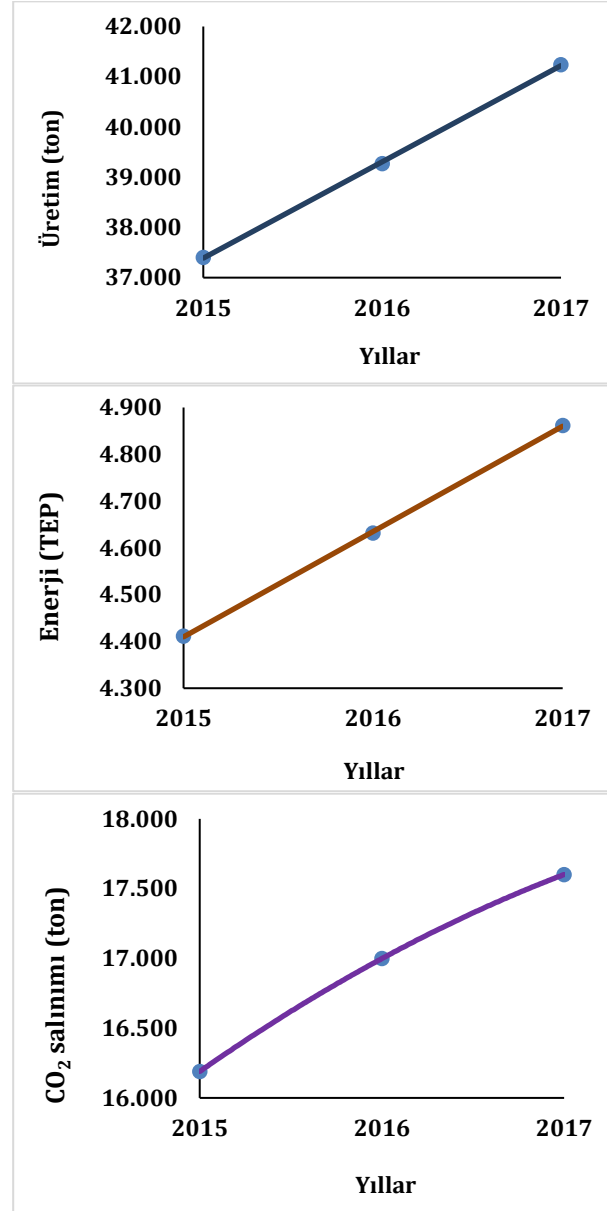
$$\text{Sabit C Oranı} / 100 * \left(\frac{m_{aCO_2}}{m_{aC}} \right) = 2,61 \text{ kg} / \text{Sm}^3 \text{ CO}_2 \quad (40)$$

olarak belirlenmiştir. Elektrik enerjisi için ise tüketilen her kWh başına Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli) 0,5 ile 0,6 arası bir çarpan değeri belirlemiştir. Hesaplamamızda ortalama olması açısından 0,55 değeri kullanılmıştır.

Tablo 14. Yıllara göre hesaplanmış toplam CO₂ salınım miktarları [14]

Yıllar	2015	2016	2017
Doğalgaz (Sm ³)	4.625,25	4.856,51	5.009,34
Elektrik (kWh)	6.309,04	6.624,49	6.955,72
Üretilen Ürün (kg)	37.404,00	39.274,20	41.237,91
Toplam CO ₂ (ton/yıl)	16.189,41	16.998,87	17.601,32
Kg Ürün Başına CO ₂ (kg)	0,4328	0,4328	0,4268

Şekil 6 ve Tablo 15'te 3 yıllık üretim, CO₂ salınımı ve enerji tüketimi değerleri sayısal olarak verilmiş grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6. Üretim, salınım ve enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi [14].

Tablo 15. Üretim, salınım ve enerji tüketim değerlerinin yıllara göre sayısal değerleri [14]

Yıllar	Üretim (ton)	CO ₂ Salınımı (ton)	Enerji (TEP)
2015	37.404,00	16.189,41	4.411,30
2016	39.274,20	16.998,87	4.632,80
2017	41.238,00	17.601,32	4.862,70

Yapılacak enerji verimliliği uygulamaları ile işletmenin enerji tüketimi ve dolayısıyla CO₂ salınım miktarının azaltılması mümkün olacaktır. Böylece, işletmenin CO₂ salınımı açısından kategorisini düşürerek daha çevreci bir işletme haline gelmesinin önü açılacaktır. Şekil 6'da görüldüğü üzere 3 yıllık üretim, CO₂ salınımı ve enerji tüketimi eğimleri incelendiğinde sistemin verimliliğinde zamanla bir

değişim gözlenmediği ve ayrıca üretim miktarına bağlı olarak CO₂ salınımının da değişim gösterdiği anlaşılmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Karaman ilinde seçilen bir gıda fabrikasının gofret üretim hattı üzerinde gerçekleştirilen enerji verimliliğine dair ölçümler, ölçüm sonucunda elde edilen veriler ve bu verileri ile yapılan enerji hesapları yapılmıştır. Yapılan analizler özellikle ısı enerjinin yoğun olduğu kazan, kazan iletim hattı ve fırın sisteminde tesisin genel olarak kayıp oranının yüksek, verimliliğinin düşük olduğunu gözlenmiştir. Enerjinin daha etkin kullanılmasına yönelik çalışmalardan; ekipman ve tesisat yalıtımı, elektrik makinalarının DHS ile revize edilmesi, atık ısının geri kazanımı için reküperatör kullanımı gibi öneriler işletme ile paylaşılmıştır. Ayrıca hava gaz oranı, besi suyu kalitesi, bacagazı sıcaklığı gibi değerleri otomatik tespit edecek ve ayarlayacak akıllı sistemlerin kullanılması ile verimin artacağı belirtilmiştir.

İşletmeye sunulan önerilerde yalıtım ile ilgili eksiklikler tespit edilerek 0,25 yıl gibi kısa geri ödeme süresi olan cam/taş yünü yalıtım ve DHS uygulamaları önerilmiştir. Kazan sisteminde cam yünü ile yapılan yalıtım hesabı sonrasında ortalama yalıtım sonrası ısı kaybı %89 azaltılmış ve önemli oranda enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca, kazan sisteminde periyodik bacagazı ölçümleri ile yakıt-hava oranı sürekli optimize edilerek yanma verimi yükseltilmiş ve bu sayede tüketilen yakıt miktarı da azaltılarak tasarruf sağlanmıştır.

Kazan sisteminde yapılan incelemede en önemli problemin ısı kayıpları ve kazan verimi olduğu görülmüştür. Yapılan hesaplamalarda kazan veriminin %83,55 olduğu bu verim değerinin artırılması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca işletmenin incelenen kazan sistemindeki toplam ısı kayıplarının %16,45 olduğu hesaplanmıştır. Sistemdeki fazla hava oranı hesaplamalarında bacagazı ölçüm değerlerinden elde edilen O₂ verisi kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalarda fazla hava oranının idealden çok uzak olduğu tespit edilmiştir. Hava ve gaz oranının optimize edilmesi işletmeye tavsiye edilmiştir. Sistemdeki toplam baca kayıplarının %8,47 olduğu yapılan hesaplamalardan elde edilmiştir. İşletmeye bacagazındaki kayıpların azaltılması için kazan ön havasını ısıtmak amacıyla yerleştirilecek reküperatör önerilmiştir. Bu kayıpların reküperatör kullanılarak %6,25 değerine kadar düşürülebileceği hesaplanmıştır. Kazanılan ısının getirdiği yakıt tasarruf miktarı 1,21 m³/saat ve bunun yıllık finansal karşılığı 3391,9 \$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ölçüm değerlerinde elde ettiğimiz %14,41 olan O₂ oranının brülör düzenli kontrolü ile %4 seviyelerinde tutulduğunu varsayarsak yapılan hesaplamalarda verimin

%88,75'e yükseldiği belirlenmiş ve bu durumda gerçekleşecek yakıt tasarrufunun finansal karşılığı ise yıllık 5998,85 \$ olarak hesaplanmıştır [14].

İlgili işletmenin önerilen enerji verimliliği uygulamalarına karşı mesafeli olması, sistemin verimli çalışmasından ziyade üretimin sürekli olmasına önem verdiklerini göstermektedir. Bu tür çalışmaların yaygınlaştırılarak verimlilik uygulamalarının ülkemiz açısından önemi daha net ortaya konulmalı ve gerek işletme sahipleri gerekse de personelleri bu konuda bilinçlendirilerek ülkemizin enerjisi etkin ve verimli kullanımının yolu gerek kanun ve yönetmeliklerle ve bunlara ek denetim sistemleri ile açılmalıdır. Böylelikle hem enerji tüketimi azalacak hem de CO₂ salınımı asgari düzeye indirilerek hem şu an için hem de gelecek için ekosistem korunmuş olacaktır. Ülkemizin 2023 hedeflerinde yer alan enerji yoğunluğu değerleri de bu şekilde ulaşılabilir duruma gelmiş olacaktır. Ayrıca işletmede iş sağlığı ve güvenliği önlemleri olup olmadığı incelenerek özellikle kazan ve fırın sisteminde çalışan personele koruyucu gözlük, eldiven, bone vb. ekipmanların kullanılması gerektiği anlatılmış ve eksik olan ekipmanlar işletmeye bildirilmiştir.

Türkiye'de en fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgelerden biri olan Karaman ili gerek iklimsel gerek coğrafi özellikler itibarıyla de oldukça avantajlı konumdadır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için Enerji İhtisas Endüstri Bölgesi (EİEB) olarak belirlenen bu bölgede bulunan işletmenin çatı ve düz alanlarında gerek su ısıtma gerekse elektrik üretimi amacıyla güneş panelleri kullanılması önerilmiştir. Bu sayede işletmenin elektrik tüketimi azalacak ve işletmenin çatı gibi boş alanları kullanılmış olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: 06-YL-16). Ayrıca bu çalışmada yapmış oldukları yorum ve katkılarından dolayı Doç. Dr. Aydın RUŞEN'e, Dr. Öğretim Üyesi Gamze KARANFİL'e ve gıda firması yetkililerine teşekkür ederiz. Bu çalışmasının yapıldığı gıda işletmesi isim verilerek teşekkür edilmesine ve çalışma kapsamında isminin kullanılmasına müsaade etmemiştir.

Kaynakça

- [1] Anonim, 2016. IEA, Energy Policies of IEA Countries: Turkey, Paris: International Energy Agency.
- [2] Tütünoğlu, Y., Güven, A., Öztürk, İT. 2012. Cam Temperleme Fırınında Enerji Analizi, Mühendis ve Makina Dergisi, 53(629), 55-62.

- [3] IPCC Climate Change, 2014. Synthesis Report Summary for Policymakers Switzerland. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf (Erişim Tarihi: 13.08.2020).
- [4] Acar, E. 2012. Enerji Yoğunluklu Bir Fabrikanın Enerji Verimliliği Özelinde İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 175s, Ankara.
- [5] Anonim, 2016. T.C. ETKB Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri.
- [6] Resmî Gazete, 2011. T.C. ETKB, Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik.
- [7] Karanfil, G., Ener Ruşen, S., Poyraz, Ş.N., Can, M. 2020. Experimental Investigation of Waste Heat Recovery Systems and Heat Yield Parameters, *European Journal of Science and Technology*, 19, 127-137.
- [8] Cengiz, M.S., Mamiş, M.S. 2015. A Review of Past-to-Present Literature for Stirling Engines, *International Journal of Scientific and Technological Research*, 6(1),10-9.
- [9] Terzi, Ü.K., Baykal, R. 2011. Efficient and Effective Use of Energy: a Case Study of TOFAS, *Environmental Research, Engineering and Management*, 1(55), 29-33.
- [10] Doğan, H., Yılkırkan, N. 2015. Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projeksiyonu, *Gazi Üniversitesi Fen Bilim Dergisi*, 3(1), 375-83.
- [11] Anonim, 2007. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. Enerji Verimliliği Mevzuatı.
- [12] Kanoğlu, M. 2010. Enerji Verimliliği Örnek Projeleri, Gaziantep. http://www.tskb.com.tr/i/content/486_1_mehmet-kanoglu-enerji-verimliliği-ornek-projeleri.pdf (Erişim Tarihi: 20.01.2020).
- [13] Ener Rusen, S., Topcu, M.A., Celtek, S.A., Karanfil Celep, G., Rusen, A. 2018. Investigation of energy saving potentials of a food factory by energy audit, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 7 (1), 848-860.
- [14] Çevik, M.S. 2018. Bir Gıda Fabrikasında Enerji Verimliliği Performans Değerlendirmesi. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler, Yüksek Lisans Tezi, 141s, Karaman.
- [15] Genceli, O.F. 1988. Buhar Kazanları: Konstrüksiyon ve Yardımcı Elemanları. Birsan Yayınevi, İstanbul, 85s.
- [16] Woodruff, E.B., Lammers, H.B., Lammers, T.F. 2012. *Steam Plant Operation 1523s*, New York: McGraw-Hill Companies.
- [17] Bilgin, A. 2009. Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyonlar, *MMO dergisi*, 1, 23-30.
- [18] Yalçın, S.E. 2006. Buhar Kazanlarının Eksergoekonomik Çözümlemesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 98s.
- [19] Akpolat, M.S. 2014. Türkiye'de ve Avrupa'da Kazanların Güvenli Çalışma ve Periyodik Kontrol Kriterleri, Ankara. <https://isgfrm.com/threads/tuerkiye-de-ve-avrupa-da-kazanlarin-guevenli-calisma-ve-periyodik-kontrol-kriterleri.25504/> (Erişim Tarihi: 25.01.2019)
- [20] Anonim, 2008. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. Kazanlar. Ankara.
- [21] Küçükçalı, R. 2000. Buhar Sistemlerinde Enerji Tasarrufu, *Türkiye Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 20, 1-8.
- [22] Çubuk, H. 2016. Isı Üretim Dağıtım Sistemlerinde Enerji Yönetimi. *Yarbis*, İstanbul, 203s.
- [23] İZODER. 2013. Isı Yalıtımı. İZODER Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği, Ankara. <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/Bina-ve-Tesisatta-Isi-Yalitimi.pdf> (Erişim Tarihi: 13.08.2020).
- [24] T.C. MEB. 2007. İnşaat Teknolojisi- Yalıtım ve Boya. Ankara. http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Yal%C4%B1t%C4%B1m%20Ve%20Boya.pdf (Erişim Tarihi:12.05.2019).
- [25] Gülcivan, A. 2006. Tekstil Sektöründe Enerji Tasarruf Olanaklarının Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 154s.
- [26] Ener Rusen, S., Topcu, M.A., Celtek, S.A., Karanfil Celep, G., Rusen, A. 2018. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, J Eng Res Appl Sci., June, 848-60.
- [27] Hepbaşlı, A., 2010. Temel Kavramlar, Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemleri Yaklaşımlar ve Uygulamalar. Esen Ofset Matbaacılık Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, İstanbul, 186s.
- [28] Karanfil, G., Ener Rusen, S., Topcu, M.A., Celtek, S.A., Rusen, 2019. Application of Recuperator for Waste Heat Recovery From Exhaust Flue Gas in Hot Water Boiler in a Central Heating Plant, *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 20(1), 112 - 120.

- [29] Akdaş, M., Ömür, B. 2016. Sanayide Tesisat Yalıtımının Önemi ve Uygulamaları. Tesisat Mühendisliği, Ocak(151), 30-43.
- [30] Rüsen, A., Topçu, M.A. 2016. Insulation of Boiler to Save Energy. 8th Ege Energy Symposium and Exhibition (IEESE), 11-13 Mayıs, Afyon, 1-7.
- [31] ENERMER Enerji Etüt - Projesi Ders Notları, 2015. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, 156s.
- [32] Rüsen, A., Topçu, M.A. 2016. Energy Saving by Insulation in a Food Factory Steam Generation Plant. International Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC), 6-8 Nisan, Nevşehir, 1-5.
- [33] Ayvaz A.Ş. 2018. Fiyat Listesi. İstanbul. <https://www.ayvaz.com/fiyatlistesi> (Erişim Tarihi: 13.08.2018).
- [34] Özdabak, A. 2011. Endüstriyel Fırınlarda Enerji Etüdü. Kocaeli. 3 Enerji Verimliliği Kongresi, 31 Mart-02 Nisan, İstanbul, 1-5.
- [35] Ener Rusen, S., Koc, M. 2019. Analysis of Energy Consumption and CO₂ Emission Values; A Case Studym of a Food Factory, BEU Journal of Science, 8 (4), 1478-1488.

Farklı Konsantrasyonlarda *Spirulina platensis* Eklenmiş Yoğurtların Kimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri

Sümeýra AYDEMİR¹, Zübeyde ÖNER²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: **.**.20**, Kabul / Accepted: **.**.20**, Online Yayınlanma / Published Online: **.**.20**)

Anahtar Kelimeler

Spirulina platensis,
Yoğurt,
Fonksiyonel ürün

Özet: Bu çalışmada, dört farklı konsantrasyonda (0,25, 0,50, 0,75 ve %1) mavi-yeşil alg türü olan *Spirulina platensis*'in yoğurdun içine katılmasıyla, yoğurdun fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşsal özellikleri üzerindeki etkisi depolama süresi boyunca incelenmiştir. *Spirulina platensis* kullanılarak üretilen set tipi yoğurtlarda, kimyasal analiz sonuçlarının bazılarında önemli bir farklılık bulunmadığı belirlenmiştir. Ancak yoğurt üretiminde *Spirulina platensis* kullanımının 21 günlük depolama süresi boyunca kuru madde, yağ ve titrasyon asitliği değerleri üzerindeki etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Mikrobiyolojik analiz sonuçlarına bakıldığında ise *Spirulina platensis* ilavesinin, *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* sayılarını istatistiki açıdan etkilemediği görülmüştür ($p > 0,05$). *Spirulina platensis* ile hazırlanan yoğurtların, toplam fenolik madde miktarı ve toplam antioksidan kapasite değeri kontrol yoğurdundan daha yüksek bulunmuştur. *Spirulina platensis* ilavesi yoğurtlardaki protein miktarını arttırmıştır. Duyusal analiz sonuçlarına göre ise, panelistler tarafından en yüksek puanı kontrol yoğurdu alırken bunu %0,25 *Spirulina platensis* katkılı yoğurt örneği izlemiştir. Tüm bu sonuçlar, set tipi yoğurtların kimyasal özelliklerinin geliştirilmesi için *Spirulina platensis*'in kullanılabilceğini göstermiştir.

Physical and Chemical Properties of *Spirulina platensis* Added Yoghurts in Different Concentrations

Keywords

Spirulina platensis,
Yogurt,
Functional product

Abstract: In this study, the effect of four different concentrations (0.25, 0.50, 0.75 and %1) of the blue-green algae species *Spirulina platensis* on the physical, chemical, microbiological and sensory properties of the yogurt were investigated during storage time. It was determined that there was no significant difference in some of the chemical analysis results in the set yoghurts produced using *Spirulina platensis*. However, the effect of *Spirulina platensis* use on dry matter, fat and titratable acidity values during 21 days of storage was found to be statistically significant ($p < 0.05$). On the basis of microbiological analysis, the addition of *Spirulina platensis*, *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* numbers were not statistically significant ($p > 0.05$). Total phenolic content and total antioxidant capacity of yogurts prepared with *Spirulina platensis* were higher than control yogurt. Protein values also increased with the addition of *Spirulina platensis* compared to control yogurt. According to the results of the sensory analysis, while the highest score was taken the control yoghurt, it was followed by %0.25 *Spirulina platensis* added yoghurt. All these results indicated that *Spirulina platensis* can be used to improve the chemical properties of the set type yogurt.

*İlgili yazar: sumeyra-aydemir@hotmail.com

1.Giriş

Türk Gıda Kodeksi'ne göre yoğurt, fermentasyonda spesifik olarak *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un simbiyotik kültürlerinin kullanıldığı fermente süt ürünü olarak tanımlanmaktadır [1]. Sütte, özellikle fermente süt ürünlerinde, bazı özel proteinler, vitaminler, biyoaktif peptidler, organik asitler ve oligosakkaritler içeren çok sayıda biyoaktif bileşik mevcuttur [2]. Yoğurt mükemmel bir kalsiyum, protein ve potasyum kaynağıdır [3].

Yoğurdun tedavi amaçlı kullanıldığı hastalıklar; mide asit sekresyonunun yetersiz olduğu durumlar (pernisioz anemi vs.), diyare (bakteriyel, viral), kronik kabızlık, irritabl bağırsak sendromu ve diğer fonksiyonel gastrointestinal rahatsızlıklardır. Yoğurt, yukarıda sıralanan hastalıkların yanında çeşitli hastalıkların tedavisinde de antimikrobiyal, antikanserijenik, antikolesterolemik etkiler gösterir [4-6]. Yapılan literatür taramasında yoğurdun çeşitli gıda maddeleriyle zenginleştirilip besin değerinin artırılmasına yönelik birçok çalışmaya rastlanmıştır.

Dal Bello ve diğerleri (2015) yoğurtta bulunan ω -3 çoklu doymamış yağ asitlerinin konsantrasyonunu, keten tohumu, *Camelina sativa* (ketencik), ahududu, frenk üzümü ve *Echium plantagineum* (kırkbatıran)'dan elde edilen 5 farklı bitkisel yağ kullanarak arttırmışlardır. Depolamanın sonuna, en yüksek α -linolenik asit içeriğini keten tohumu ve frenk üzümü yağları ilave edilen yoğurtlarda tespit etmişlerdir [7].

Ghorbanzade ve diğerleri (2017), kapsüllenmiş balık yağını yoğurda eklemiş ve kapsüllü balık yağı ilave edilen yoğurdun, serbest balık yağı içeren yoğurttan daha yüksek dokosaheksaenoik asit (DHA) ve eikosapentaenoik asit (EPA) içeriğine sahip olduğunu tespit etmişlerdir [8].

Öztürkoğlu-Budak ve diğerleri (2016) yoğurda ceviz, fındık, badem ve antepfıstığı eklemişlerdir. Zenginleştirilmiş bu yoğurtların, kontrol yoğurduna kıyasla daha yüksek protein içerdiği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca ceviz haricindeki diğer kabuklu yemişlerin eklenmesi *S. thermophilus* ve *L. bulgaricus* sayılarını arttırmıştır. Zenginleştirilmiş yoğurtlarda, folik asit, α -tokoferol, selenyum ve ω -3 ve ω -6 yağ asitleri, ilgili kabuklu yemiş türlerinde bulunan değerlere kıyasla daha yüksek bulunmuştur [9].

Robertson ve diğerleri (2016) yoğurdu bir mikroalg türü olan *Pavlova lutheri* (%0,25 ve %0,50) ile zenginleştirmişlerdir. *Pavlova lutheri* eklenmesi, yoğurtta toplam ω -3 konsantrasyonunu arttırmıştır. Duyusal analiz sonuçları, mikroalg ile zenginleştirilmiş yoğurtların kontrol yoğurduyla karşılaştırıldığında panelistler tarafından kabul edilmediğini ortaya koymuştur [10].

Son dönemlerde yaygın şekilde diyet takviyesi olarak kullanılan bir mikroalg türü olan *Spirulina platensis*'in, 16. yy' dan beri gıda maddesi olarak Texcoco Gölü etrafında yaşayan Aztek uygarlığı tarafından kullanıldığı; Afrika ve Meksika'daki yerli halk tarafından tüketilen geleneksel gıdalar arasında yer aldığı; günümüzde ise, halen Çad gölü kıyısında yaşayan Kanembu kabilesi yerlileri tarafından besin maddesi olarak tüketildiği bilinmektedir [11,12].

Eski çağlardan beri besin olarak kullanılan bu doğal ürünün bilimsel çalışmalara konu olması ve ticari anlamda kültüre edilmesi, 1963 yılında Fransız Petrol Araştırma Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, bu ürünün sahip olduğu zengin besin içeriğinden dolayı, NASA (National Aeronautics and Space Administration) ve ESA (European Space Agency) tarafından uzun süreli uzay yolculuklarında esas yiyecek olarak kullanılmasıyla ilgili çalışmalar devam etmiştir [13, 14]. 2000'li yıllarda ise, Birleşmiş Milletler ve Dünya Tarım Örgütleri tarafından bu besinin hem çocuklar hem de yetişkinler için oldukça faydalı bir diyetel takviye olduğu beyan edilmiştir [15]. Ülkemizde 2000'li yılların başlarında Ege Üniversitesi bünyesinde ilk defa havuzlarda *Spirulina* üretimi gerçekleştirilmiştir. Sonraki yıllarda Çukurova ve Çanakkale Onsekiz Mart Üniversiteleri'nde *Spirulina* üretimi yapılmıştır [16].

Tüm dünyada ilgi gören ve farklı tedavilerde kullanılan *Spirulina* diyet takviyesinin antilipidemik, antidiyabetik, antiviral, antihistaminik ve antikarsinojenik özellikleri yapılan birçok klinik araştırmayla ortaya koyulmuştur [14]. Ayrıca deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalarla da *Spirulina*'nın, günlük hayatta maruz kalınan kimyasalların ya da terapötik amaçlı kullanılan bazı ilaçların neden olduğu doku harabiyetlerinde iyileştirici ve koruyucu etkisi olduğu gösterilmiştir [17].

Shin ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada, *Spirulina* içeren yoğurtların kalite özelliklerini ve antioksidan aktivitelerini değerlendirmişlerdir. *Spirulina* tozu eklenmesinin laktik asit bakterilerinin büyümesini desteklediği ve titre edilebilir asitliği arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır. *Spirulina* içeren yoğurdun hidroksil radikal süpürücü aktivitesi, mikro ve makro besin miktarı kontrol yoğurdundan daha yüksek bulunmuştur [18].

Agustini ve diğerleri (2016), *Spirulina platensis* ile zenginleştirilmiş yoğurdun kimyasal, fiziksel, mikrobiyolojik özelliklerini araştırmışlardır. *Spirulina platensis* ilavesi ile zenginleştirilen yoğurt, protein, viskozite ve toplam laktik asit bakterileri açısından kontrol ile önemli farklılıklar göstermiştir (p <0,05) [19].

Barkallah ve diğerleri (2017) yaptıkları çalışmada, *Spirulina*'nın yoğurda eklenmesiyle fermantasyon sürecinin hızlandırmış ve yoğurdun dokusal özellikleri ile duyusal kabul edilebilirliğini

koruduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca *Spirulina*, yoğurdun sadece beslenme kalitesini arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda antioksidan aktivitesini ve nutrasötik özelliğini de arttırmıştır [20].

Bu çalışmaların ışığında, *Spirulina*'nın yoğurtla birlikte kullanımı hakkında hem deneysel olarak hem ticari olarak gelecek vaat eden bir uygulama olduğu söylenebilmektedir. Bu çalışmanın amacı faydalı bir diyetel takviye olduğu bilinen *Spirulina platensis* ile üretilen yoğurdun kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin üzerine etkisinin araştırılmasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Hammadde

Araştırmada kullanılan süt Isparta Süleyman Demirel Organize Sanayi Bölgesinde bulunan Cebeci Süt ve Süt Ürünleri Tarım Hayvancılık San. ve Tic. Ltd. Şti. işletmesinden temin edilmiş ve yoğurt üretimi 3 tekerrür halinde yapılmıştır. *Spirulina platensis* ise Ege Üniversitesi'nden temin edilmiştir. Yoğurt üretiminde kullanılan sütün bileşimine ait ortalama değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yoğurt üretiminde kullanılan sütün bileşimi

Özellikler	Süte Ait Değerler
Yağ(%)	3,50±0.08
Yağsız Kuru Madde(%)	8,64±0.12
Titrasyon Asitliği	7,27±0.33
Protein(%)	3,05±0.01
Toplam Kuru Madde(%)	11,53±0.08
Laktöz(%)	4,46±0.02
Kazein(%)	2,33±0.07
Laktik Asit(%)	0,14±0

2.2. Başlatıcı kültürlerin hazırlanması

Yoğurt üretimini gerçekleştirmek için, ticari kültür (Chr. Hansen, YO 190) temin edilmiştir. 110°C'de 15 dakika sterilize edilerek hazırlanan %10'luk yağsız süt tozu içeren (skimmilk powder) (Fluka, Sigma-Aldrich, Almanya) besiyerine %2 oranında aşılmalıdır. Daha sonra 42°C'de yaklaşık 4 saat inkübasyona bırakılmış ve pH 4,60 olduğunda inkübasyon işlemi sonlandırılıp +4°C'de muhafaza edilmiştir.

2.3. *Spirulina platensis*'in hazırlanması

Yoğurda eklenecek olan *Spirulina platensis*, tablet formunda temin edildikten sonra steril havanda toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen *Spirulina platensis* örneklerinde toplam canlı sayımı için PCA (Plate Count Agar, Merck) besiyeri, dilüsyon sıvısı olarak steril Ringer kullanılmıştır (1 g/9 mL). Gelişen bakteri değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Daha sonra *Spirulina platensis* örnekleri yoğurda ekleneceği oranlarda 150 mm çaplı petri kaplarına

porsiyonlanarak ince bir tabaka halinde yayılmış ve UV lambası (TL 20W/05, Philips. Co., Holland) altında mikroorganizmaların inaktif hale gelmesi sağlanmıştır. UV işlemi sonrası *Spirulina platensis* örneklerinde toplam canlı sayımı yapılmıştır. Gelişen bakteri değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. *Spirulina platensis*'in PCA'da gelişen bakteri miktarları (log₁₀kob/g)

EGERT	PCA sayımı sonuçları
1.tekerrür	3,29
2.tekerrür	3,96
3.tekerrür	3,11

Tablo 3. *Spirulina platensis*'in UV işlemi sonrası PCA'da gelişen bakteri miktarları (log₁₀kob/g)

EGERT	PCA sayımı sonuçları
1.tekerrür	<10
2.tekerrür	<10
3.tekerrür	<10

2.4. Yoğurt üretimi

Çalışmada bir kontrol grubu ve dört deneme grubu olmak üzere beş farklı şekilde yoğurt üretimi gerçekleştirilmiştir (Tablo 4).

Üretimde kullanılan inek sütüne yağsız süttozu (%3) ilave edilmiştir. *Spirulina platensis* ilavesinden sonra örnekler ultraturaks (Micra D8, ART- moderne Labortechnik, Muellheim-Huegelheim, Almanya) (26500 devir/dk) ile yaklaşık 5 dk boyunca homojenize edilmiştir. 45°C'ye getirilen örneklere, ticari yoğurt kültürü (Chr. Hansen, YO 190) %2 oranında inoküle edilerek plastik kaplara dolmuş yapıp 42° C'de 3-4 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyondan sonra yoğurtlar 18-20° C'ye ön soğutma işlemi yapıp buzdolabı koşullarında (4±1°C) 3 hafta boyunca depolanmıştır. Depolanmanın 1., 8., 15. ve 21. günlerinde yoğurtlara fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyu analizler uygulanmıştır.

Tablo 4. Yoğurt grupları

Örnek Kodu	Yoğurt Çeşitleri
K	Kontrol grubu
1	%0,25 <i>Spirulina platensis</i> eklenmiş grup
2	%0,50 <i>Spirulina platensis</i> eklenmiş grup
3	%0,75 <i>Spirulina platensis</i> eklenmiş grup
4	%1 <i>Spirulina platensis</i> eklenmiş grup

2.5. Metot

2.5.1. Kimyasal ölçümler

Yoğurt numunelerinin pH'sı, analizden önce standart pH tampon çözeltileri (4,0, 7,0 ve 10,0) ile pH ölçerin (inolab WTW dijital pH metre) kalibrasyonundan sonra ölçülmüştür [21]. Yoğurtların titre edilebilir asitliği, indikatör olarak fenolftalein kullanılarak 10 g numune 0,25 N NaOH (Merck) çözeltisi ile titre edilerek belirlenmiştir [22]. Numunelerin toplam

kuru maddeleri, 105 °C'de sabit ağırlığa gelene kadar numunelerin kurutulmasıyla belirlenmiştir [22]. Kül içeriği, örneklerin 550 ° C'de kül fırınında tamamen beyaz renk alana kadar yakılması sonucunda ölçülmüştür [23]. Protein içeriği, 6,38 azot dönüşüm faktörü kullanılarak Kjeldhal metodu ile tayin edilmiştir [23]. Yoğurt örneklerinin yağ tayinleri Gerber yöntemiyle yapılmıştır [24]. Sinerezis miktarı ise süzgecin üzerine tartılan 30 g örneğin 4±1°C'de 120 dakika süreyle süzülmesi sonucu beherin içinde toplanan su miktarı ve süzgeçteki pellet miktarı tartılarak bulunmuş ve sonuçlar % olarak ifade edilmiştir [25]. Renk ölçümü, renk ölçüm cihazı (PCE-TCR 200, Çin) kullanılarak yapılmış, L*, a* ve b* değerleri CIE Lab renk aralığına göre belirlenmiştir [26]. Yoğurt örneklerinde toplam fenolik madde analizi Folin Ciocalteu metodu, toplam antioksidan aktivite analizleri ise DPPH (1,1 - Difenil - 2 Pikrilhidrazil) radikal yakalama metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir [27].

2.5.2. Mikrobiyolojik Analizler

Yapılan mikrobiyolojik analizler ise; *Streptococcus thermophilus* (*S. thermophilus*), *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (*L. bulgaricus*), koliform grubu bakteri, toplam mezofilik aerob bakteri (TMAB) ve maya - küf sayımıdır [28, 29].

2.6. İstatistiksel Analiz

Analizler üç tekerrürlü olarak yapılmıştır. Denemede üzerinde durulan özellikler bakımından elde edilen gözlemler faktöriyel düzende tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile SPSS 23.0 programı (IBM Corporation, ABD) kullanılarak analiz edilmiştir (Repeated measurement ANOVA).

3. Bulgular

3.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

Yoğurt örneklerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 5'te gösterilmiştir. pH değerleri bakımından kontrol ve mikroalg tozu içeren numuneler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p > 0,05$). Benzer şekilde olan başka bir çalışmada, *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus* kültürü ile aşılanmış ve *Spirulina* içeren sütteki pH değerleri, kontrol numunelerinden daha hızlı düşmüştür. Bu durum, yoğurtların farklı tamponlama kapasitesi etkilerine bağlanmıştır [30]. O'Sullivan ve diğerleri (2016) yaptıkları çalışmada, *Ascophyllum nodosum* ve *Fucus vesiculosus* içeren yoğurtların pH değerlerinde kontrol yoğurduna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit etmemişlerdir [31].

Tablo 5'e bakıldığında *Spirulina* eklenmesiyle titrasyon asitliği miktarındaki değişimlerin istatistik

olarak önemli olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$). Kontrol grubuna kıyasla *Spirulina platensis* eklenmiş yoğurtlarda °SH değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Bu durumun, kullanılan *Spirulina platensis*'in asitliği hızlandırıcı nitelikte olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Shin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (2008), en yüksek asitliği % 1 *Spirulina* ekledikleri yoğurtlarda bulmuşlardır. Diğer örneklerdeki °SH değerleri birbirine oldukça yakın bulunmuştur [18].

Spirulina ile zenginleştirilmiş yoğurdun (% 0,95) ve kontrol yoğurdunun (% 0,91) kül içeriğine bakıldığında istatistik olarak anlamlı bir fark görülmemiştir ($p > 0,05$). O'Sullivan ve diğerleri (2016), yaptıkları çalışmada deniz yosunu özleri içeren yoğurdun, kül içeriği bakımından kontrol yoğurduna benzer değerler aldığı ve yoğurda eklenen deniz yosunu özünden etkilenmediği sonucuna varmışlardır [31]. Robertson ve diğerleri (2016), yoğurda farklı konsantrasyonlarda *Pavlova lutheri* cinsi mikroalg ekleyerek kül değerlerine baktıklarında, kül değerlerinde bir değişiklik olmadığını göstermişlerdir [10].

Yoğurtların kuru madde değerlerine bakıldığında kontrol ve % 1 *Spirulina*'lı yoğurtların değerleri sırasıyla % 13,33 ve % 13,89'dur. Bu sonuçlara göre kuru maddede iki örnek arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p < 0,05$). Başka bir çalışmada, kontrol ve (%0,25 *Spirulina* eklenmiş yoğurdun kuru madde değerleri sırasıyla %22,47 ± 0,03 ve %22,62 ± 0,07 olarak bulunmuş ve bu değerler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$) [20].

Kontrol ve %1 *Spirulina*'lı yoğurt örneklerinin yağ içeriği arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Sengupta ve diğerleri (2018), farklı konsantrasyonlarda *Spirulina platensis* ekleyerek yaptıkları soya yoğurtlarındaki yağ miktarının, sade soya yoğurduna benzer değerler aldığını tespit etmişlerdir [32]. Agustini ve diğerleri (2016), kontrol yoğurdu ve % 1 *Spirulina platensis* eklenmiş yoğurdun yağ değerlerini birbirine oldukça yakın bulmuşlardır ($p > 0,05$). Bunun nedeni olarak ise *Spirulina*'nın az miktarda eklenmesi olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca yapılan varyans analizi sonucunda *Spirulina platensis* eklenmesiyle, yoğurt örneklerinin kurumaddede % yağ değerlerindeki değişimini istatistik olarak önemli bulmuşlardır ($p < 0,05$) [19].

Yoğurtların protein değerlerinde bakıldığında ise *Spirulina* eklenmiş yoğurtlarda kontrol yoğurduna kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun, *Spirulina*'nın yüksek protein değerleri protein içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir [33].

Tablo 5. Fizikokimyasal analiz sonuçları

	K1	K21	11	121	21	221	31	321	41	421
pH	4,14±0,02 Aa	4,02±0,02A b	4,10±0,0 1Aa	4,02±0,00 Ab	4,10±0,00 Aa	3,99±0,0 1Ab	4,10±0,00Aa	3,99±0,02A b	4,08±0,00 Aa	3,99±0,01A b
SH ^o	40,63±0,5 7Ec	49,86±0,70 Ba	44,80±0, 40Dc	51,33±0,3 5Ba	47,06±0,4 8Cc	54,26±0, 58Aa	49,46±0,26B c	56,00±0,46 Aa	52,13±0,4 8Ab	56,13±0,35 Aa
Kül(g/100 g)	0,91±0,01 Aa	0,92±0,00A a	0,93±0,0 1Aa	0,91±0,02 Aa	0,95±0,04 Aa	0,94±0,0 1Aa	0,94±0,03Aa	0,97±0,02A a	0,95±0,01 Aa	0,93±0,00A a
Kuru Madde(g/100 g)	13,33±0,1 2Ba	13,22±0,07 Ba	13,26±0, 04Ba	13,26±0,2 4Ba	13,53±0,1 5ABa	13,50±0, 17Aa	13,66±0,08A Ba	13,36±0,05 ABa	13,89±0,0 4Aa	13,70±0,13 Aa
Yağ(g/100 g)	2,90±0,00 Ba	2,90±0,00B a	2,95±0,0 7ABa	2,97±0,03 ABa	3,02±0,03 ABa	3,00±0,0 0ABa	3,05±0,07AB a	3,02±0,03A Ba	3,10±0,00 Aa	3,10±0,00A a
Kuru maddede % yağ	21,75±0,0 3ABa	21,93±0,00 ABa	22,24±0, 02ABa	22,39±0,0 2Aa	22,30±0,0 0ABa	22,22±0, 00ABa	22,32±0,04A a	22,60±0,01 Aa	22,31±0,0 6Aa	22,62±0,01 Aa
Protein(g/100 g)	3,83	3,83	4,59	4,59	5,26	5,26	5,68	5,68	5,96	5,96
Sinerezis(g/100 g)	33,66±0,9 8Aa	33,66±0,98 Aa	31,79±0, 57Aa	31,79±0,5 7Aa	32,94±0,9 8Aa	32,94±0, 98Aa	34,16±0,92A a	34,16±0,92 Aa	33,84±1,0 6Aa	33,84±1,06A a

*Aynı satırda büyük harfle işaretlenmiş ortalamalar yoğurt çeşitleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

**Aynı satırda küçük harfle işaretlenmiş ortalamalar zamanlar arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

***K1(Kontrol 1. Gün), K21(Kontrol 21. Gün), 11(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 121(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 21(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün), 21(%0,50 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 221(%0,50 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün), 31(%0,75 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 321(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün), 41(%1 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 421 (%1 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün).

Affan ve diğerleri (2015) yaptıkları çalışmada, kültür besiyerinde yetiştirilen *Spirulina maxima* ve *S. platensis*'in protein içeriklerini değerlendirmiş ve *S. maxima*'nın protein içeriğinin *S. platensis*'ten daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir [34]. Santos ve diğerleri (2016) yaptıkları çalışmada, *Spirulina* ile zenginleştirilmiş, çalkalama tipi toz gıdaların geliştirilmesi amacıyla yaptıkları ürünlerde ortalama olarak %42 daha fazla protein içeriğine ulaşmışlardır [35].

Yoğurtların sinerezis değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçlarına göre depolama süresinin 1. gününden itibaren birbirine oldukça yakın değerler aldığı gözlenmiştir. *Spirulina platensis* ilavesinin bütün yoğurt örneklerinin sinerezis değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Brignac ve Aryana (2012), antioksidan bileşiklerin (C vitamini, E vitamini ve β -karoten) eklenmesinin, yoğurtta peynir altı suyu ayrılmasını etkilemediğini bildirmişlerdir [36]. Robertson ve diğerleri (2016) de, kontrol ile (%0,25 ve %0,50 Pavlova *lutheri* eklenmiş yoğurtların 28 günlük depolama süresince, sinerezis değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir fark gözlememişlerdir [10].

3.1.1. *Spirulina platensis*'li Yoğurtların Antioksidan Aktivitesi

Mikroalglerin antioksidan aktivitesi, içerdiği sayısız serbest radikallerden kaynaklanmaktadır [20]. Mavi-yeşil bir alg olan *Spirulina (Arthrospira) platensis*, süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksit gibi antioksidan enzimlerinin yanı sıra suda çözünür fikosiyanın pigmentleri, karotenoidler ve fenolik bileşikler gibi değerli bir doğal antioksidan kaynağı olarak kabul edilir [37]. Yapılan yoğurtlarda depolama süresi boyunca meydana gelen toplam antioksidan madde değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Yoğurt örneklerinde toplam antioksidan değerleri 25,65 – 51,83 % DPPH arasında değişmiştir.

Farklı oranlarda *Spirulina platensis* ilavesi ile bütün gruplardaki yoğurt örneklerinin toplam antioksidan değerlerindeki artış net bir biçimde görülmüştür.

Beheshtipour ve diğerleri (2012) yaptıkları çalışmada, yoğurtların antioksidan aktivitesinin mikroalg varlığı ile arttığını açıkça göstermişlerdir. *Spirulina*'nın yoğurda katılmasının sonucu, serbest

radikal yakalamadaki artış, klorofil [38], karotenoid [39] ve fikosiyanın içeriğindeki artış ile ilişkilendirilmiştir [40].

Goiris ve diğerleri (2012), 32 mikroalg biyokütle örneğini TEAC, FRAP ve AIOLA yöntemlerini kullanarak toplam antioksidan kapasitelerini araştırmışlardır. Mikroalglerin $53,90 \pm 0,76$ ile $69,40 \pm 1,14$ $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ arasında değişen değerleriyle yüksek toplam antioksidan kapasiteye sahip olduğu ve bu nedenle potansiyel bir antioksidan kaynağı olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Bu çalışmada farklı türdeki ekstraktlardan elde edilen sonuçlar, karotenoid ve fenolik bileşiklerin, mikroalglerin antioksidan kapasitesine önemli ölçüde katkıda bulunduğunu açıkça göstermiştir [39].

3.1.2. *Spirulina platensis*'li Yoğurtların Toplam Fenolik Madde Değerleri

Yoğurtlarda depolama süresi boyunca meydana gelen toplam fenolik madde değerlerindeki değişim Şekil 1'deki gallik asit kalibrasyon eğrisinden yararlanılarak Tablo 7'de gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak verilmiştir. Yoğurt örneklerinde toplam fenolik madde değerleri 51,57 – 80,49 mg GAE / g arasında değişmiştir. *Spirulina platensis* ilavesi ile bütün gruplardaki toplam fenolik madde değerlerindeki artış meydana gelmiştir. Li ve diğerlerinin (2007), birkaç tür mikroalg farklı fraksiyonlarının antioksidan kapasitelerinin ve toplam fenolik içeriğinin değerlendirilmesi üzerine yaptıkları çalışmada, fenolik bileşiklerin bu mikroalglerin antioksidan kapasitelerine önemli bir katkı yapmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Mikroalglerin, diğer bitkilerden farklı türde antioksidan bileşikler içerebildiğini tespit etmişlerdir [40]. Ismaiel ve diğerlerinin (2016) yaptıkları bir çalışmada, *S. platensis*'in toplam fenolik madde içeriğini, pH 9,5'da 12,1 mg GAE / g ve pH 10,0'da 11,9 mg GAE / g olarak bulmuşlardır. Bu durum istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. *S. platensis*'in toplam fenolik maddede içeriğinin, pH ile değişebildiği sonucuna ulaşmışlardır [38]. O'Sullivan ve diğerleri (2014), *Ascophyllum nodosum* (%0,25) ve *Fucus vesiculosus* (%0,50) yosunlarının ekstratları ile zenginleştirilmiş süt örneklerinin toplam fenolik madde değerlerini sırasıyla $74,8 \pm 3,5$, $91,5 \pm 6,5$ mg GAE / g olarak bulmuşlardır [42].

Tablo 6. Toplam Antioksidan Madde analiz sonuçları (%DPPH)

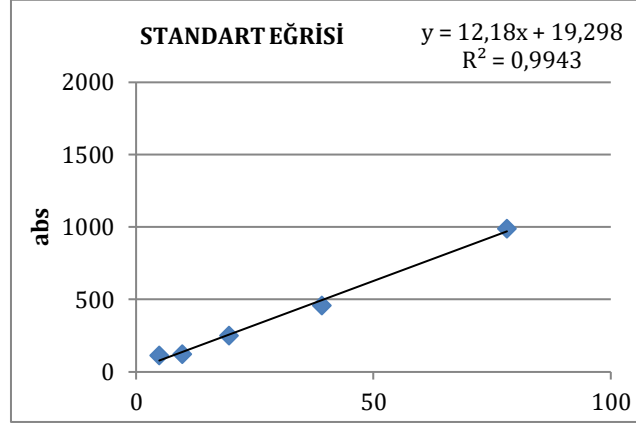
	K1	K21	11	121	21	221	31	321	41	421
Toplam Antioksidan(%DPPH)	25,65	26,17	28,27	32,98	35,07	39,26	40,83	45,02	47,12	51,83

*K1(Kontrol 1. Gün), K21(Kontrol 21. Gün), 11(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 121(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün), 21(%0,50 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 221(%0,50 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün), 31(%0,75 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 321(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün), 41(%1 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 421(%1 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün)

Tablo 7. Toplam Fenolik Madde analiz sonuçları (mg GAE/ g)

	K1	K21	21	221	41	421
Toplam Fenolik Madde (mg GAE / g)	51,57	53,49	62,82	64,79	72,65	80,49

*K1(Kontrol 1. Gün), K21(Kontrol 21. Gün), 21(%0,50*Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 221(%0,50*Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün, 41(%1 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 421(%1 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün).

**Şekil 1.** Gallik asit kurvesi.

3.2. Renk Analizi Sonuçları

Renk, ürünlerin niteliğini ve kalitesini belirleyen önemli özelliklerden biridir. Süt ürünlerinde renklerin, tüketici kabulü üzerinde önemli etkisi vardır [43]. Bu nedenle bu çalışmada yoğurt örneklerinin renk analizi PCE-TCR 200 (Çin) renk ölçüm cihazına göre sonuçlar ise L*, a* ve b* parametrelerine göre değerlendirilmiştir. CIE sisteminde L* aydınlık a* kırmızı ve yeşil renk yoğunluğunu b* ise sarı ve mavi renk yoğunluğunu belirtmektedir [44].

Yoğurt örneklerine ait L*, a* ve b* değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Yoğurt gruplarında depolama boyunca en düşük L* değeri depolamanın 1. gününde 49,59 değeriyle 4 numaralı gruptaki yoğurtlarda; en yüksek L* değeri ise depolamanın 21. gününde 90,85 ile K grubu yoğurtlarda bulunmuştur. Farklı oranlarda *Spirulina platensis* ilavesinin yoğurt örneklerinin L* değerleri üzerine etkisi istatistik olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). 21 günlük depolama süresinin L* değeri üzerine etkisi, kontrol grubu hariç diğer bütün gruplardaki yoğurtlarda istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). Shin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (2008), kontrol yoğurdu ve %0,25, %0,50 ve %1 *Spirulina* tozu ilave edilen yağsız süttten hazırlanan yoğurtların L* değerlerini sırasıyla 90,77±0,47, 73,43±0,14, 65,91±0,40, 55,10±0,35 olarak bulmuşlardır [18].

Barkallah ve diğerleri (2017) yaptıkları çalışmada, kontrol ve % 0,25 *Spirulina* eklenmiş yoğurdun L* değerlerini sırasıyla 86 ve 59 olarak bulmuşlardır. L*, a* ve b* değerleri, yoğurtta *Spirulina* renginin

baskın olduğunu göstermiştir. Yapılan istatistiksel analizler, kontrol ve *Spirulina* ile zenginleştirilen yoğurtlar arasında, depolama süresi boyunca L* değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını göstermiştir (p> 0,05) [20].

Yoğurt gruplarının a* değerleri ise depolama süresince -4,91 ve -1,11 arasında değişiklik göstermiştir. Farklı konsantrasyonlarda *Spirulina platensis* ilavesiyle hazırlanan yoğurt gruplarının 21 günlük depolama süresinin a* değerleri üzerine etkisi K grubu ve 1 numaralı gruptaki yoğurtlarda istatistiksel olarak önemsiz bulunurken (p>0,05) 2, 3 ve 4 numaralı gruplarda istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). Shin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (2008), %0,50 ve %1 *Spirulina* tozu ilave edilen yoğurt dışındaki diğer gruplarda ölçülen a* değerlerindeki değişiklikleri istatistiksel olarak önemli bulmuşlardır (p<0,05) [18]. Başka bir çalışmada, kontrol ve *Spirulina* ile zenginleştirilen yoğurtların depolama süresi boyunca a* değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır (p> 0,05) [20].

Yoğurt gruplarının b* değerleri ise 5,18 ile 6,96 aralığında değişiklik göstermiştir. *Spirulina platensis* ilavesinin b* değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p>,05). Benzer bir çalışmada, yoğurtların b* değerleri sırasıyla 10,76±0,98, 7,97±0,13, 8,17±0,03, 8,17±0,03 olarak bulunmuştur. Kontrol grubu dışındaki diğer yoğurtlarda ölçülen b* değerlerindeki değişiklikler ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p>0,05) [18]. Bir başka çalışmada depolama süresince kontrol ve %0,25 *Spirulina* eklenmiş yoğurtların b* değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir fark görülmemiştir (p> 0,05) [20].

Tablo 8. Renk analizi sonuçları

	K1	K21	11	121	21	221	31	321	41	421
L*	89,63±0,71Aa	90,85±0,53Aa	66,45±0,71Bc	72,76±0,53Ba	61,46±0,71Cb	63,38±0,53Ca	55,23±0,71Dc	60,18±0,53Da	49,59±0,71Ec	57,37±0,53Da
a*	-1,11±0,29Aa	-1,29±0,19Aa	-3,79±0,29Ba	-3,57±0,19Ba	-4,77±0,29Cc	-3,21±0,19Ba	-4,91±0,29Cc	-3,57±0,19Ba	-3,66±0,29Bb	-3,11±0,19Ba
b*	5,57±0,41Ab	6,61±0,50Aa	6,68±0,41Aa	5,18±0,50Ab	6,28±0,41Aa	6,33±0,50Aa	6,74±0,41Aa	6,04±0,50Aab	6,96±0,41Aa	6,40±0,50Aab

*Aynı satırda büyük harfle işaretlenmiş ortalamalar yoğurt çeşitleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

**Aynı satırda küçük harfle işaretlenmiş ortalamalar zamanlar arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

** K1(Kontrol 1. Gün), K21 (Kontrol 21. Gün), 11(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 121(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün), 21(%0,50 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 221(%0,50 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün), 31(%0,75 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 321(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün), 41(%1 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 421 (%1 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün).

Tablo 9. Mikrobiyolojik analiz sonuçları

	K1	K21	11	121	21	221	31	321	41	421
M17	7,47±0,11Aa	6,10±0,67Ab	8,01±0,29Aa	6,13±1,01Ab	8,24±0,27Aa	6,75±0,6Ab	8,25±0,37Aa	6,04±0,58Ab	8,28±0,45Aa	6,03±0,42Ab
MRS	7,75±0,66Aa	6,27±0,18Ab	7,72±0,62Aa	6,91±0,06Ab	7,88±0,79Aa	6,89±0,23Ab	7,87±0,77Aa	6,67±0,56Ab	7,94±0,84Aa	6,62±0,22Ab
VRB	0,66±0,33Aa	<10Aa	<10Aa	<10Aa	0,66±0,33Aa	<10Aa	<10Aa	<10Aa	0,33±0,33Aa	<10Aa
PDA	0,33±0,33Aa	<10Aa	0,66±0,66Aa	<10Aa	0,66±0,33Aa	<10Aa	0,33±0,33Aa	<10Aa	0,66±0,33Aa	<10Aa
PCA	7,49±0,86Aa	7,58±0,43Aa	7,15±1,08Aa	6,90±0,60Aa	7,23±1,08Aa	7,17±0,60Aa	7,24±1,02Aa	6,83±0,76Aa	7,31±0,92Aa	6,77±0,81Aa

*Aynı satırda büyük harfle işaretlenmiş ortalamalar yoğurt çeşitleri arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

**Aynı satırda küçük harfle işaretlenmiş ortalamalar zamanlar arasındaki farklılığı göstermektedir (p<0,05).

** K1(Kontrol 1. Gün), K21 (Kontrol 21. Gün), 11(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 121(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 21(%0,50 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 221(%0,50 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün), 31 %0,75 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 321(%0,25 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün), 41(%1 *Spirulina platensis*'li yoğurt 1. Gün), 421(%1 *Spirulina platensis*'li yoğurt 21. Gün).

3.3. Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Depolama süresi boyunca yoğurt örneklerinin bakteri miktarlarında meydana gelen değişim Tablo 9'da verilmiştir. Yapılan yoğurtlarda 21 günlük depolama süresi boyunca meydana gelen laktokok bakteri sayıları 6,03 – 8,28 \log_{10} kob/g arasında değişmektedir. Eklenen *Spirulina platensis*'in M17'de gelişen bakterileri bir miktar arttırdığı fakat bu değişimin istatistik bakımdan önemli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır ($p>0,05$). Ancak bakteri sayılarına, depolama süresinin istatistik bakımdan önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Güldaş ve İrkin (2010) yaptıkları çalışmada, kontrol ve *Spirulina* tozu ilave edilen yoğurtlarda, yoğurt starter kültürleri ve *Lactobacillus acidophilus*'un canlılığını araştırmış ve *S. platensis* tozu ilavesinin, tüm bakterilerin daha iyi büyümesi ile sonuçlandığını tespit etmişlerdir [45]. Bunun nedeni olarak Akalın ve diğerleri (2009) tarafından belirlenen *S. platensis*'in besleyici özelliklerinden kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir [46].

21 günlük depolama süresi boyunca laktobasil bakterileri sayısındaki değişim ise 6,27 – 7,94 \log_{10} kob/g arasında değişmektedir. Depolama süresinin, MRS'de gelişen bakteri miktarları üzerine etkisi istatistiksel bakımdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Ancak yoğurt örneklerine farklı konsantrasyonlarda eklenen *Spirulina platensis*'in MRS'de gelişen bakteri miktarlarına istatistiksel olarak önemli bir etkisi bulunmamıştır ($p>0,05$).

Fadei ve diğerlerinin (2013) yaptıkları çalışmada, *S. platensis* tozunun yoğurda eklenmesi, depolamanın 7. gününde yoğurtlardaki *L. bulgaricus* sayısında istatistiksel olarak önemli bir artışa neden olmuştur ($p<0,05$). Ancak depolama süresi arttıkça, yoğurtlardaki *L. bulgaricus* canlı sayısının belirgin bir şekilde düştüğü gözlenmiştir [47].

Mocanu ve diğerlerinin (2013) yaptıkları çalışmada *Spirulina* ile zenginleştirilmiş süt ve kontrol pastörize süt; iki farklı başlangıç kültürü (BB12 (*Bifidobacterium animalis* ssp. *Lactis*) ve LA-5(*Bifidobacterium animalis* ssp. *Lactis*)) kullanılarak üretilmiştir. BB12 grubu %0,5 *Spirulina platensis* eklenmiş yoğurtlarda probiyotik bakteri sayılarını depolamanın ilk gününde 8,3 \log_{10} kob/g iken 15. gününde 7,4 \log_{10} kob/g olarak bulmuşlardır. %1 *Spirulina platensis* eklenmiş yoğurtlarda ise probiyotik bakteri sayılarını depolamanın ilk gününde 8,5 \log_{10} kob/g iken 15. gününde 7,5 \log_{10} kob/g olarak bulmuşlardır. Ancak bu farklar istatistiksel olarak önemsiz düzeyde bulunmuştur ($p>0,05$) [48].

Yoğurtların koliform grubu bakteri sayılarına bakıldığında ise 21 günlük depolama süresinin ve *Spirulina platensis* eklenmesinin istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$). Barkallah ve diğerlerinin (2017) yaptıkları çalışmada, 28 günlük depolama sırasında numunelerin hiçbirinde küf, maya veya koliform bakteri tespit edilmemiştir. Bu sonuçlar, 4°C'de 4 hafta boyunca depolandıktan sonra bile yoğurtların güvenli ve temiz olduğunu göstermiştir [20].

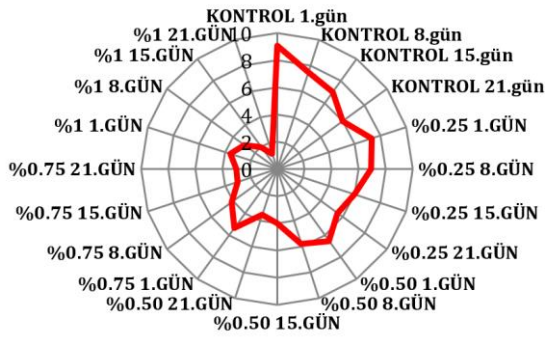
Yapılan yoğurtlarda 21 günlük depolama süresince meydana gelen maya ve küf sayılarındaki değişimlere, depolama süresinin ve *Spirulina platensis* eklenmesinin istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmamıştır ($p>0,05$). Varga ve diğerleri (2002), *Spirulina platensis* biyokütlesinin yoğurda eklenmesiyle, iki farklı sıcaklıkta depolanması sırasında probiyotik fermente süt ürünlerinin mikroflorası üzerindeki etkisini araştırmış ve tüm yoğurt gruplarında depolama süresince yapılan analizlerde maya, küf ve koliform tespit edilmediğini belirtmişlerdir. Sonuçların istatistiksel olarak önemli olmadığını ($p>0,05$), ancak *Spirulina* tozu eklenerek mikrobiyolojik kalitenin arttığını tespit etmişlerdir [49]. Malik (2011) yaptığı çalışmada kontrol ve %0,3 *Spirulina*'lı yoğurt numunesinin maya ve küf değerlerini sırasıyla 1,95 ve 1,94 \log_{10} kob/g olarak bulmuştur. Sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$), ancak *Spirulina* tozu eklenerek mikrobiyolojik kalitenin arttığı sonucuna ulaşmıştır [50].

Toplam mezofilik aerob flora sayısı, yoğurtta fazla veya düşük asitliğin yanı sıra, mukoz oluşması, istenmeyen tat, patojen varlığı ve genel kirlilik hakkında bilgi vermesi açısından sayım sonuçları dikkate alınmaktadır. Tüm yoğurt gruplarında 21 günlük depolama süresinin ve *Spirulina platensis* eklenmesinin PCA'da gelişen bakteri sayıları üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$). O'Sullivan ve diğerleri (2014), *Ascophyllum nodosum* ve *Fucus vesiculosus* yosunlarının ekstratları ile zenginleştirilmiş süt örneklerinin toplam mezofilik bakteri sayılarını, 11 günlük depolama süresi boyunca 3,3 ila 5,6 \log_{10} kob/g arasında değiştiği ve bakteri sayılarının deniz yosunu özleri ilavesinden etkilenmediği sonucuna ulaşmışlardır [42].

3.4. Duyusal Analiz Sonuçları

Yoğurtların duyusal özelliklerine ait olan genel kabul edilebilirlikleri Şekil 2'de verilmiştir. Kontrol yoğurdundan sonra en yüksek puanı % 0,25 *Spirulina* içeren yoğurtlar almıştır. Daha yüksek mikroalgal konsantrasyonları (%0,50, %0,75 ve %1)

içeren yoğurtlar, kontrole kıyasla daha düşük duyusal kabul edilebilirliğe sahiptir ($p<0,05$). *Spirulina* ilavesinin neden olduğu uygun olmayan lezzet, metalik aroma üretebilen minerallerin yanı sıra lipitlerin oksidasyonundan üretilen bileşiklerle de bağlantılıdır [51]. Genel olarak, (kontrol ve % 0,25 *Spirulina* ile yapılan yoğurtlar hariç) *Spirulina* eklenmiş yoğurtlar arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p>0,05$). Malik ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, farklı konsantrasyonlarda *Spirulina* ilavesiyle hazırlanan dondurulmuş yoğurtların duyusal testleri sonucunda en lezzetli olan grubun %0,15 *Spirulina* ilavesiyle hazırlanmış dondurulmuş yoğurt olduğu sonucuna varmışlardır [52]. Agustini ve arkadaşları (2016), panelistler tarafından yapılan duyusal testler sonucunda, % 1 *Spirulina platensis* ilavesinin kontrol yoğurduna göre daha çok tercih edildiğini göstermişlerdir. Bununla birlikte, örnekler arasında görünüm, lezzet, tat, kıvam ve toplam kabul edilebilirlik niteliklerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmediğini ifade etmişlerdir ($p>0,05$) [19].



Şekil 2. Depolama süresince yoğurt gruplarının toplam kabul edilebilirlikleri.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, *Spirulina platensis* biyokütlesinin yoğurda eklenmesiyle, yoğurttaki protein seviyesinin arttığını kanıtlamıştır. Protein bakımından zengin olan *Spirulina* gıdalarla birlikte vücuda alındığında dokularda faydalı etkilere neden olabilir. Ek olarak, mineral, protein ve esansiyel yağ asitleri bakımından çok zengin olduğu için, özellikle düşük kalorili diyetlere sahip olan insanlar için yararlı bir besindir. *Spirulina platensis*, yoğurdun antioksidan aktivitesini artırarak nutrasötik özelliğini de arttırmıştır. Bu sonuçlara göre, biyoaktif bileşiklerin bir kaynağı olan *Spirulina platensis*'in, tüketicilerde olumsuz etkilere neden olabilen sentetik ve kimyasal bileşiklerden oluşan katkı maddelerine alternatif olarak kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, *Spirulina* tozu, iyi bir doğal renklendirici ve uygun konsantrasyonda lezzet verici madde kaynağı olduğundan yoğurt işlemede yenilikçi ve çekici katkı maddesi olarak etkin bir şekilde kullanılabilir.

Teşekkür

Bu araştırma Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2018-6745 no'lu yüksek lisans projesi kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Anonim, 2009. Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği, T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Tebliğ No:2009/25, Ankara.
- [2] Akın, N. 2006. Modern Yoğurt Bilimi ve Teknolojisi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya, 456s.
- [3] McGill, C.R., Fulgoni, V.L., DiRienzo, D., Huth, P.J., Kurilich, A.C. and Miller, G.D. 2008. Contribution of dairy products to dietary potassium intake in the United States population. The Journal of the American College of Nutrition, 27, 44-50.
- [4] Çakmakçı, S., Gündoğdu, E. 2005. Yoğurdun yararları ne kadar tekrarlınsa yine de az. Hasad Gıda, 20, 10-15.
- [5] McKinley, M.C. 2005. The nutrition and health benefits of yoghurt. International Journal of Dairy Technology, 58, 1-12.
- [6] Özden, A, 2009. İnsan beslenmesinde yoğurdun yararlı etkileri. Güncel Gastroenteroloji Dergisi, 13(4), 227-231.
- [7] Dal Bello, B., Torri, L., Piochi, M., Zeppa, G. 2015. Healthy yogurt fortified with n-3 fatty acids from vegetable sources. Journal of Dairy Science, 98(12), 8375-8385.
- [8] Ghorbanzade, T., Jafari, S.M., Akhavan, S., Hadavi, R. 2017. Nano-encapsulation of fish oil in nano-liposomes and its application in fortification of yogurt. Food Chemistry 216, 146-152.
- [9] Öztürkoğlu-Budak, S., Akal, C., Yetişemiyen, A. 2016. Effect of dried nut fortification on functional, physicochemical, textural, and microbiological properties of yogurt. Journal of Dairy Science, 99(11), 8511-8523.

- [10] Robertson, R.C., Mateo, M.R.G., O'Grady, M.N., Guihéneuf F., Stengel, D.B., Ross, R.P., Fitzgerald, G.F., Kerry, J.P., Stanton C. 2016. An assessment of the techno-functional and sensory properties of yoghurt fortified with a lipid extract from the microalga *Pavlova lutheri*. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 237-246.
- [11] Ciferri, O., Tiboni, O. 1985. The Biochemistry and Industrial Potential of *Spirulina*. *Annual Review of Microbiology*, 39, 503-526.
- [12] Pinero Estrada, J.E., Bermejo Bescos, P., Villar del Fresno, A.M. 2001. Antioxidant Activity of Different Fractions of *Spirulina platensis* Protean Extract. *Farmaco*, 56(5-7), 497-500.
- [13] Rossi, N., Derouiniot-Chaplain, M., Jaouen, P., Legentilhomme, P., Petit, I. 2008. *Arthrospira platensis* Harvesting with Membranes: Fouling Phenomenon with Limiting and Critical Flux. *Bioresour Technology*, 99(14), 6162-6167.
- [14] Karkos, P.D., Leong, S.C., Karkos, C.D., Sivaji, N., Assimakopoulos, D.A. 2011. *Spirulina* in Clinical Practice: Evidence-Based Human Applications. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011, 1-4.
- [15] World Health Organization, 2004. WHO guidelines on safety monitoring of herbal medicines in pharmacovigilance systems. World Health Organization, 82s.
- [16] Gökpınar, Ş., Işık, O., Göksan, T., Durmaz, Y., Uslu, L., Ak, B., Önalın, S.K., Akdoğan, P. 2013. Algal Biyoteknoloji Çalışmaları, Yunus Araştırma Bülteni, (4), 21-26.
- [17] Belay A. 2002. The Potential Application of *Spirulina* (*Arthrospira*) as a Nutritional and Therapeutic Supplement in Health Management. *JANA*, 5 (2), 27-48.
- [18] Shin, Y. M., Son, C. W., Sim, H. J., Kim, M. H., Kim, M. Y., Kwon, O. Y., Kim, M. R. 2008. Quality characteristics and antioxidant activity of *Spirulina* added yogurt. *Korean journal of food and cookery science*, 24(1), 68-75.
- [19] Agustini, T.W., Soetrisnanto, D. and Ma'ruf, W.F. 2016. Study on chemical, physical, microbiological and sensory of yoghurt enriched by *Spirulina platensis*. *International Food Research Journal*, 24(1), 367-371.
- [20] Barkallah, M., Dammak, M., Louati, I., Hentati, F., Hadrich, B., Mechichi, T., Ayadi, M.A., Fendri, İ., Attia, H., Abdelkafi, S. 2017. Effect of *Spirulina platensis* fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage. *LWT - Food Science and Technology*, 84, 323-330.
- [21] Dave, R.I., Shah, N.P. 1997. Viability of yoghurt and probiotic bacteria in yoghurts made from commercial starter cultures. *International Dairy Journal*, 7, 31-41.
- [22] Anonim, 1999. T.S.1330, Yoğurt Standardı. (Türk Standartları Enstitüsü), Ankara.
- [23] AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 15th Ed., Association of Official Analysis Chemists: Arlington, VA, USA.
- [24] Anonim, 1990. Türk Standartları Enstitüsü, TS 8189, Sütte Yağ Tayini-Gerber Metodu.
- [25] Öner, Z., Karahan, A. G., Aydemir, S., Aloğlu, H. Ş. 2008. Effect of transglutaminase on physicochemical properties of set-style yogurt. *International Journal of Food Properties*, 11(1), 196-205.
- [26] Kahyaoğlu, T., Kaya, S., Kaya, A. 2005. Effects of fat reduction and curd dipping temperature on viscoelasticity, texture and appearance of Gaziantep Cheese. *Food Science Technology International*, 11(3), 191-198.
- [27] Selçuk, A.R., Yılmaz, Y. 2009. İşlenmiş uzum çekirdeği tozu ilavesinin lokum benzeri bir ürünün toplam fenolik madde içeriği ile antioksidan aktivitesi üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 7 (5), 56-61.
- [28] De Man, J. C., Rogosa, D., Sharpe, M. E. 1960. A medium for the cultivation of lactobacilli. *Journal of applied Bacteriology*, 23(1), 130-135.
- [29] Terzaghi, B. E. ve Sandine, W. E. 1975. Improved medium for lactic streptococci and their bacteriophages *Applied and Environmental Microbiology Journal*. 29(6), 807-813.
- [30] Varga, L., Sziget, J., Ördög, V. 1999. Effect of a *Spirulina platensis* biomass enriched with trace elements on combinations of starter culture strains employed in the dairy industry. *Milchwissenschaft*. 54(5), 247-248.
- [31] O'Sullivan, A.M., O'Grady, M.N., O'Callaghan, Y.C., Smyth, T.J., O'Brien, N.M., Kerry, J. P. 2016. Seaweed extracts as potential functional ingredients in yogurt. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 293-299.
- [32] Sengupta, S., Koley, H., Dutta, S., Bhowal, J. 2018. Hypocholesterolemic effect of *Spirulina platensis* (SP) fortified functional soy yogurts on diet-induced hypercholesterolemia. *Journal of Functional Foods*, 48, 54-64.
- [33] Lupatini, A. L., Colla, L. M., Canan, C., Colla, E. 2017. Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(3), 724-732.
- [34] Affan, M. A., Lee, D. W., Al-Harbi, S. M., Kim, H. J., Abdulwassi, N. I., Heo, S. J., Kang, D. H. 2015. Variation of *Spirulina maxima* biomass

- production in different depths of urea-used culture medium. Brazilian Journal of Microbiology, 46(4), 991-1000.
- [35] Santos, T.D., de Freitas, B.C.B., Moreira, J.B., Zanfonato, K., Costa, J.A.V. 2016. Development of powdered food with the addition of *Spirulina* for food supplementation of the elderly population. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 37, 216-220.
- [36] Brignac, B., Aryana, K. J. 2012. Influence of various antioxidants on the characteristics of plain yogurt. Food and Nutrition Sciences, 3, 1277-1280.
- [37] El-Baky, H.H.A., El Baz, F.K., El-Baroty, G.S. 2009. Enhancement of antioxidant production in *Spirulina platensis* under oxidative stress. Acta Physiologiae Plantarum, 31(3), 623-631.
- [38] Ismaiel, M.M. S., El-Ayouty, Y.M., Piercey-Normore, M. 2016. Role of pH on antioxidants production by *Spirulina (Arthrospira) platensis*. Brazilian journal of microbiology, 47(2), 298-304.
- [39] Goiris, K., Muylaert, K., Fraeye, I., Foubert, I., De Brabanter, J., De Cooman, L. 2012. Antioxidant potential of microalgae in relation to their phenolic and carotenoid content. Journal of Applied Phycology, 24, 1477-1486.
- [40] Beheshtipour, H., Mortazavian, A.M., Haratian, P., Darani, K.K. 2012. Erratum to: Effects of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* addition on viability of probiotic bacteria in yogurt and its biochemical properties. European Food Research and Technology, 235(4), 719-728.
- [41] Li, H.B., Cheng, K.W., Wong, C.C., Fan, K.W., Chen, F.Y. 2007. Jiang Antioksidan kapasitenin değerlendirilmesi ve seçilen mikroalgelerin farklı fraksiyonlarının toplam fenolik içeriği. Food Chemistry, 102, 771-776.
- [42] O'Sullivan, A.M., O'Callaghan, Y.C., O'Grady, M.N., Waldron, D.S., Smyth, T. J., O'Brien, N.M., Kerry, J.P. 2014. An examination of the potential of seaweed extracts as functional ingredients in milk. International Journal of Dairy Technology, 67, 182-193.
- [43] Dönmez, Ö., Mogol, B. A., Gökmen, V. 2017. Syneresis and Rheological Behaviors of Set Yogurt Containing Green Tea and Green Coffee Powders. Journal of Dairy Science, 100(2), 901-907.
- [44] Şimşek, B., Gün, İ., Çelebi, M. 2010. Isparta Yöresinde Üretilen Süzme Yoğurtların Protein Profilleri ve Bunların Kimyasal Özelliklerle İlişkisi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 20(3), 208-213.
- [45] Gültaş, M., İrkin, R. 2010. Influence of *Spirulina platensis* powder on the microflora of yoghurt and acidophilus milk. Mljekarstvo, 60(4), 237-243.
- [46] Akalın, A. S., Ünal, G., Dalay, M. C. 2009. Influence of *Spirulina platensis* biomass on microbiological viability in traditional and probiotic yogurts during refrigerated storage. Italian Journal of Food Science, 21(3), 357-364.
- [47] Fadei, V., Mohammad-Alasti, F., Khosravi-Darani, K. 2013. Influence of *Spirulina platensis* powder on the starter culture viability in probiotic yoghurt containing spinach during cold storage. European Journal of Experimental Biotechnology 3(3), 389-393.
- [48] Mocanu, G., Botez, E., Nistor, O. V., Andronoiu, D. G., Vlăsceanu, G. 2013. Influence of *Spirulina platensis* biomass over some starter culture of lactic bacteria. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies, 19(4), 474-479.
- [49] Varga, L., Szigeti, J., Kovács, R., Földes, T., Buti, S. 2002. Influence of a *Spirulina platensis* biomass on the microflora of fermented ABT milks during storage (R1). Journal of Dairy Science, 85(5), 1031-1038.
- [50] Malik, P. 2011. Utilization of *Spirulina* powder for enrichment of ice cream and yoghurt. Karnataka Veterinary, Animal and Fisheries Sciences University, Doctoral dissertation, 151s.
- [51] Shimamatsu, H. 2004. Mass production of *Spirulina*, an edible microalga. Hydrobiologia, 512(1-3), 39-44.
- [52] Malik, P., Kempanna, C., Aman, P. 2013. Quality characteristics of ice cream enriched with *Spirulina* powder. International Journal of Food and Nutrition Science, 2(1), 44-50.

Mineralogical and Geochemical Properties of Clays to Associated with the Yarikkaya (Yalvaç-Isparta) Coal Deposits

Oya CENGİZ¹, Ayhan Sinan UZUN², Maksat BEKİYEV³

^{1,2,3}Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 18.12.2019, Kabul / Accepted: 22.09.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Keywords

Yarikkaya,
Lignite coal,
Clays,
Mineral composition,
Geochemistry,
Occurrence

Abstract: This study contains the mineralogical and geochemical characteristics of clays associated with Yarikkaya (Yalvaç-Isparta) lignite coals. The clays are located in three lignite coal sites in the Yarikkaya Neogene basin. The claystone member mainly consisting of claystone, carbonated shale, marl and locally mudstone, is settled in the Miocene Yarikkaya formation. The clay occurrence is generally at the bottom of coal and sometimes at the upper parts of coal levels or laterally transitive with clays. The clay deposits have gray, dark gray and khaki colour, and they are generally covered by brown or gray bituminous materials. Their thickness changes between 5-15 m, and has a maximum thickness of 40 m as intercalated with the other lithologies in the Yarikkaya-3 location. The mineral paragenesis of clay formation mainly consists of illite, kaolinite, chlorite, and to a lesser amount smectite. SiO_2/Al_2O_3 vs. Fe_2O_3/K_2O ratios indicated that Yarikkaya clay samples are defined as mainly shale, less greywacke and quartz arenite. The average Al_2O_3/TiO_2 ratios suggest that Yarikkaya clay samples show intermediate source rock. Cu, Ba, Pb, Zn, Co, Zr, Ga, Rb, V are considerably lower, only Ni contents are higher contents of with respect to PAAS. Geochemical contents of the investigated clays show that the clastics which are derived from the Seydişehir formation rocks could give a material to the Yarikkaya lacustrine sediments.

Yarikkaya (Yalvaç-Isparta) Kömür Yatakları ile İlişkili Killerin Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri

Anahtar Kelimeler

Yarikkaya,
Linyit kömürü,
Killer,
Mineral bileşimi,
Jeokimya,
Oluşumu

Özet: Bu çalışma, Yarikkaya (Yalvaç-Isparta) linyit kömürleri ile ilişkili killerin mineralojik ve jeokimyasal özelliklerini kapsar. İncelenen killer Yarikkaya Neojen havzasındaki üç linyit kömür lokasyonunda yer almaktadır. Başlıca kıltaşı, karbonatlı şeyl, marn ve yer yer çamurtaşından meydana gelen kıltaşı üyesi Miyosen yaşlı Yarikkaya formasyonunda bulunur. Kil oluşumu genellikle kömürün tabanında, bazen linyit kömür seviyelerinin üst kısmında yada geçişli olarak gözlenir. Kil çökelleri gri, koyu gri ve haki renklerde dir. Genellikle kahverengi yada gri bitümlü malzemeler ile örtülmektedir. Kalınlıkları 5-15 m arasındadır ve Yarikkaya-3 lokasyonundaki diğer litolojiler ile arakatlı olarak maksimum 40 m kalınlığa sahiptir. Kil oluşumunun mineral parajenezini başlıca illit, kaolinit ve klorit ve daha az miktarda smektit oluşturur. SiO_2/Al_2O_3 ve Fe_2O_3/K_2O oranları, Yarikkaya kil numunelerinin başlıca şeyl, daha az grovak ve kuvars arenit olarak tanımlandığını gösterir. Ortalama Al_2O_3/TiO_2 oranları Yarikkaya kil örneklerinin orta kaynak kaya olduğunu göstermektedir. İncelenen kil numunelerinin Cu, Ba, Pb, Zn, Co, Zr, Ga, Rb, V içerikleri oldukça düşüktür, sadece Ni içerikleri PAAS' a göre daha yüksektir. Yarikkaya killerinin jeokimyasal içerikleri, Seydişehir formasyonundaki kayalardan türeyen kırıntılı materyallerin Yarikkaya gölü tortullarına malzeme verebileceğini göstermektedir.

*Corresponding author: oyacengiz@sdu.edu.tr

1. Introduction

The clays observed at the generally lower levels of coal deposits, sometimes at the top or at the transition of the coal beds, are called "sub-coal clays". In particular, refractory clays can be associated with hard coal, as well as with younger lignite coals. While hard coal and lignite contain a kaolinite-illite mixture or only illite mineral, anthracites include halloysite. Refractory clays contain mainly kaolinite and are of sedimentary origin. Kaolin has used in industry areas such as cement, paper, plastic, medicine, etc. These clays contain impurities such as calcite and pyrite. Refractory clays have low plastic properties and high aluminum content. Sub-coal clays have used in brick, tile, pottery, etc. ceramic industry and in the refractory industry such as cement and chemistry [1].

In order to determine the usage properties of sub-coal clays in industry, the mineralogical composition and geochemical properties of these clays should be known. For this reason, this study was carried out. The clays in the investigated area are located in the lignite coal situations in the Neogene aged Yarikkaya lake basin (Figure 1). The lignite coal has been currently operated by a private company. Since coal outcrops are opened, the sub-coal clay beds are clearly observed in the field.

The purpose of this study is to investigate the

mineralogical and geochemical properties of clays associated with lignite coals in an area of approximately 12 km² near surrounding Yarikkaya (Yalvaç-Isparta) village (Figure 1).

The clay formations in the Neogene lake basin are observed in three coal quarry sites in the Miocene aged Yarikkaya formation. In these locations, systematic clay samples were taken from the profiles of clay spread and mineralogical definitions (mineral contents and clay types) and geochemical analyzes (major oxide and trace elements) of these samples were made. By the results of the analyses, it was determined that could the usage of clays as brick soil and ceramic raw materials. In this study, only technological tests have not been performed to use clays in economy. However, it is known that the clays were used as washer clay by the local people.

2. Material and Method

The total eight clay samples were collected from certain clay profiles at three lignite coal locations. These are Y-1, Y-2, Y-3, Y-4 from Yarikkaya-1 Quarry, Y-5 from Yarikkaya-2 Quarry, and Y-8, Y-10 from Yarikkaya-3 Quarry. In order to examine the mineralogical characteristics of these samples, bulk rocks' mineral composition, air dried (AD), ethylene glycol (EG), heated at 350°C and 550°C were carried by X-ray diffractometer (XRD) detail clay analysis.



Figure 1. Google Earth location map of the investigated area.

Guided samples were prepared from clay-sized fractured samples to process these samples for XRD analysis. For this aim, approximately 20-30 grams of 250 μm grain size is put out a 1000 cc glass or polyethylene scale container and weighed. Then 55 cc of purified water is added and mixed with mechanical stirrer for about 10 min (1500 min⁻¹) and left in a dust-free environment for 1 hour sedimentation at 20°C. The clear upper level is emptied. Then, 5-10 ml of the solution is pipetted at a depth of 5 cm from the surface of the suspension and stored for analysis. In this way, only <2 μm grains are obtained and maximum richness is obtained in terms of clay minerals [2].

A series of standard secondary treatments were applied to the prepared specimens to create artificial changes in the basal diffraction of clay minerals, especially in the low 2 θ° angle region. Distinction and exact definition of diffraction profiles and similar clay minerals were made by systematic examination of these artificial changes. XRD graphics were taken from after guided samples were subjected to the following standard procedures.

Treatment with ethylene glycol is carried out by waiting at least 1 hour in an oven (set to 60°C) in an open mouth container containing ethylene glycol (liquid or fraction). However, the most important factor to be considered during this process is to make XRD analysis of the sample taken from the oven in short and always same time interval. Heat treatment at 550°C is carried out by keeping the same sample subjected to ethylene glycol treatment in a temperature sensitive ($\pm 5^\circ\text{C}$) oven for at least 1 hour. It is also important to perform XRD analysis immediately after the sample has cooled down for 15–20 minutes after heat treatment.

By using Shimadzu XRD-6000 model X-ray diffractometer with Ni filter, CuK α radiation, and Cu K α X-ray with 1.544Å wavelength, XRD analyses of clay samples in the study area were performed in Afyon Kocatepe University Technology Application and Research Center (TUAM) Laboratory. In the analysis, 40 kV (voltage) and 30 mA (current) diffraction values were selected. Clay samples were scanned at 2° / min and analyzed at a peak intensity of 2000 cps (intensity) in the range of 2°-70° (2 Φ) goniometer diffraction angle.

By Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) method, major-oxide and trace element analyses were conducted on the same eight samples in Bureau Veritas Mineral (BVM) Canada laboratories. In this laboratory, samples were milled to 200mesh and then dissolved by lithium borate fusion and the element contents were measured by ICP-MS method.

3. Results

3.1. Geology of Yarikkaya area

The study area is located in the inner part of the structure known as Isparta Angle in the southwestern Anatolia [3]. The region is surrounded by Sultandağları from the north and east and Anamasdağları from the south. The lithological units in the area are the rocks of Ordovician aged Seydişehir Formation epimetamorphics and Jurassic aged Hacıalabaz limestone. Hacıalabaz limestone unconformably overlies the Seydişehir Formation. The Seydişehir Formation contains slate, phyllite, meta-sandstone, and meta-conglomerate. These formations are unconformably overlaid by Neogene aged sediments. Neogene aged units consist of Miocene aged Bağkonak, Yarikkaya and Göksöğüt formations, Pliocene aged Kırkbaşı formation lacustrine sediments (Figures 2, 3).

Age	Formation	Lithology	Explanations
Middle-Upper Miocene-Pliocene	Kırkbaşı Formation		Conglomerate, mudstone
	Göksöğüt Formation		Limestone
			Mudstone
	Conglomerate Member		Conglomerate
	Yarikkaya Formation		Shale, limestone, claystone
		Claystone Member	
Bağkonak Formation		Conglomerate, mudstone sandy limestone	
Jurassic	Hacıalabaz Limestone		Blackish-dark grey limestone, dolomite
Ordovician	Seydişehir Formation		Slate, phyllite, metasandstone, metaconglomerate

Figure 2. Tectono-stratigraphic column section of the study area modified from [4].

The dominant tectonic structures in the Yarikkaya Neogene basin and surrounding areas are represented by normal and thrust faults. The thrust and reverse faults are generally developed between the Mesozoic and Paleozoic aged rock units before the Neogene period. The western and southern of the

region are completely bounded by normal faults. The normal faults that delimit the basin are generally in the direction of N, NE and NW and show a stepped structure developed parallel to each other at the margins of the basin. Data such as the sudden increase in sediment thickness from the basin edge to the interior and the transgressive overlying of the old basement rocks in the edge of the basin are evidence that these faults are also active growth faults during the sedimentation period [4].

The N, NE trending and eastward sloping Sağır fault in the northern part of the basin is cut by NW trending and westward sloping Çakırcal fault in the northern part of Yarikkaya. The Sağır fault is N, NW trending in the south of Sağır village, but NE trending in the northern part of the village. Sağır and Yarikkaya faults and Çakırcal and Söğütüdbi faults represent parallel stepped normal fault systems [4].

The Neogene aged rock units are outcropped in the Yarikkaya Basin. They are generally discriminated from each other by lithofacies boundaries, which may be transitional in lateral and vertical directions. The basin is filled by the sediments in the time interval ranging from Middle Miocene to Pliocene. The clays are settled in the Yarikkaya formation and indicate the lacustrine environment. The Yarikkaya formation has reached a total thickness of 200 m. It has a lateral transition with Bağkonak formation in the northern

and eastern parts of the basin and Madenli formation in the southern parts [4], [5].

Clay deposits in the study area are situated at three locations Yarikkaya-1, Yarikkaya-2, and Yarikkaya-3. Yarikkaya-1 clays have dark gray, khaki colored and light gray when dry. They have a moistly and easily adhering structure. The thickness of clay deposits in the outcrop is 10-12m, and the thickness of coal is approximately 40 cm. They include different sized pebbles at some levels. The clays are covered by yellowish beige sand, gravel, and block-sized grains (Figure 4. a, b, c, d).

In the Yarikkaya-2 location, claystone is observed sometimes dark and light gray colored and their thickness varies between 5-15 m. The clay level could not be detected because coal level was underwater. Clay and gravel-sized grains overlie the clays. Sometimes fine-grained and brown bituminous materials were observed in the cover layer (Figure 4. e).

In the Yarikkaya-3 area, clay formations display foliation and have dark gray in color. Due to the fault zone passing through the region, silicification and sulfurization have been detected in the area. The cover rocks are the rich in bituminous layers. The claystone can reach a maximum thickness of 40 m as intercalated with the other lithology's (Figure 4. f-g).

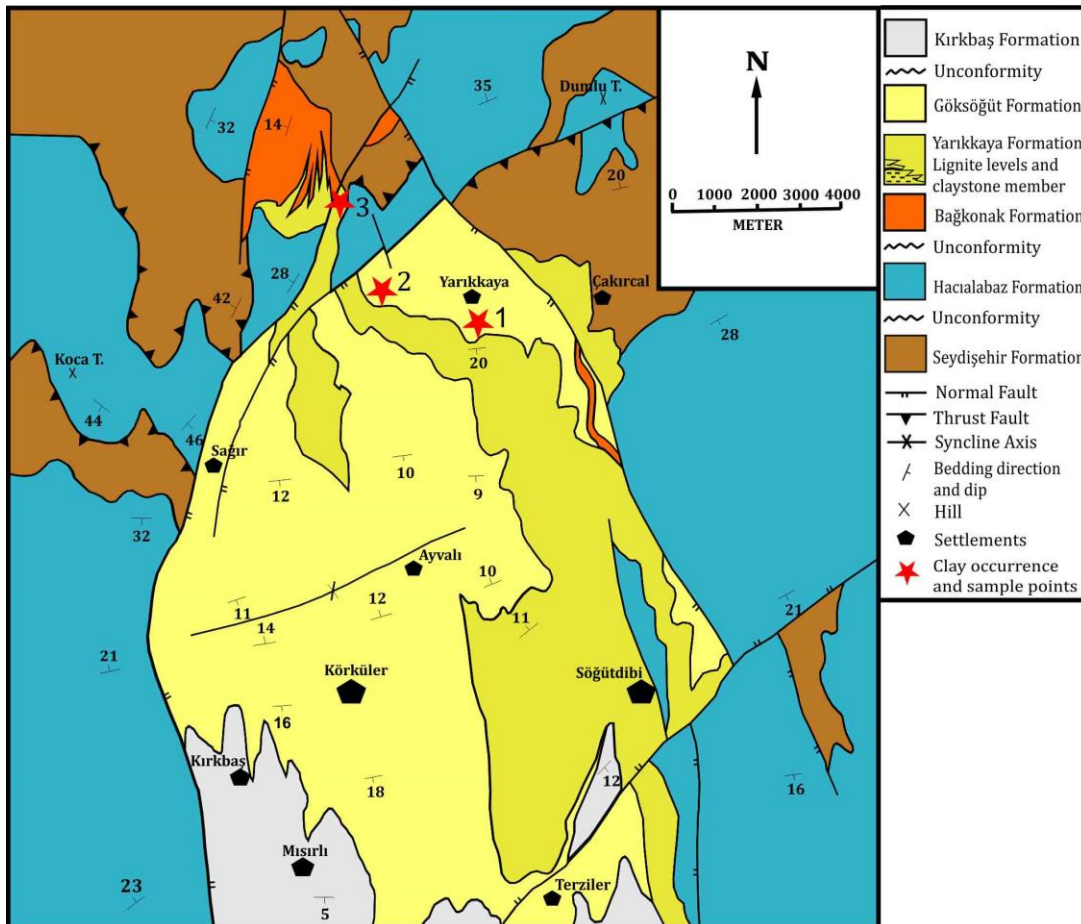


Figure 3. Geological map of the study area modified from [4].

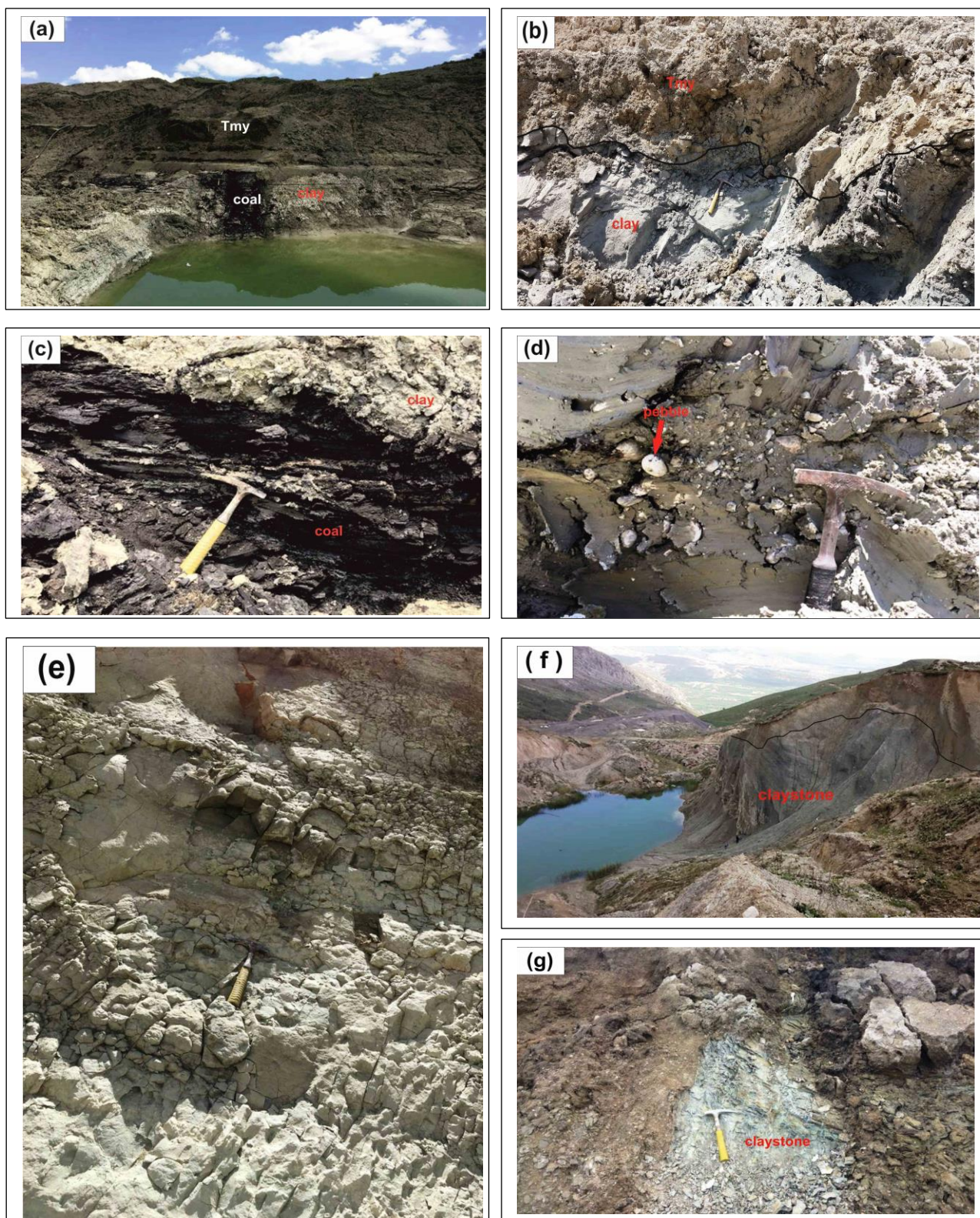


Figure 4. Field photographs of clay and coal deposits in the study area (a, b, c, d: Yarikkaya-1 Quarry, e: Yarikkaya-2 Quarry, f, g: Yarikkaya-3 Quarry) [6].

3.2. Mineralogical determinations of Yarikkaya clay

The X-ray diffractometer detail clay analysis results were presented in Table 1 and some samples' graphs are given below (Figure 5, 6, 7, 8, 9). In the mineralogical composition of the Yarikkaya clays, illite is the main phase present in all clay samples.

Kaolinite, smectite, and illite-smectite are the minor mineral phases in Yarikkaya clay samples. Chlorite, feldspar, and calcite are abundant in clay samples. Silica polymorphs occur in the form of only quartz.

As seen in Table 1, hematite is not observed in Y-8, Y-10, and Y-11 samples. Also, chloride does not in Y-8 and Y-10 samples. Illite-chloride was observed only

after heating at 350°C in the Y-1 sample. Illite-smectite and smectite exist only in the Y-4 sample.

The air-dried clay fractions of Y-2 sample from the Yarikkaya-1 clay quarry exhibit a d001 spacing of 9.83 Å, which slightly expanded to 9.93 Å after saturation with ethylene glycol, and slightly collapsed to 9.91 Å after heating at 550°C for 1 h (Figure 6).

The air-dried clay fractions of Y-5 sample from the Yarikkaya-2 clay quarry display a d001 spacing of 9.98 Å, which is the same value (9.98 Å) after saturation with ethylene glycol, and slightly collapsed

to 9.95 Å after heating at 550°C for 1 h (Figure 7).

The air-dried clay fractions of Y-10 sample from the Yarikkaya-3 clay quarry exhibit a d001 spacing of 9.93 Å, which is the close values (9.94 Å) after saturation with ethylene glycol and (9.92 Å) after heating at 550°C for 1 h (Figure 8).

The air-dried clay fractions of Y-11 sample from the Yarikkaya-3 clay quarry exhibit a d001 spacing of 9.94 Å, which is the same value (9.94 Å) after saturation with ethylene glycol, and slightly collapsed to 9.89 Å after heating at 550°C for 1 h (Figure 9).

Table 1. Mineral abundances of the investigated clay samples

Sample	Phases	Mineral Composition								
		Illite	Quartz	Kaolinite	Feldspar	Chlorite	Calcite	Dolomite	Hematite	Smectite
Y-1	Standard	*****	*****	**	**		**	*	*	
	AD	***	**	*	*	**	*			
	EG	***	**	*	*	*	*			
	350°C	**	**		*		*			
	550°C	***	**		*	*	*			
Y-2	Standard	*****	****	*	**	**	****	*	*	
	AD	**	*	*	*	**	*			
	EG	**	**	*		*	*			
	350°C	**	**	*		**	*			
	550°C	**	**		*	*	*			
Y-3	Standard	****	****	*	*	***	****	*	*	
	AD	***	**	*	*	**	*			
	EG	**	**	*	*	***	*			
	350°C	**	**	*	*		*			
	550°C	**	**		*	*	*			
Y-4	Standard	*****	*****	*	**		****	*	*	**
	AD	*	*			*				*
	EG	***	**	**	*		*			
	350°C	**	**	*	*		*			
	550°C		*							
Y-5	Standard	*****	****	*	**	***	****	*	*	
	AD	**	**	*	*	**	*			
	EG	***	**	*	*	**	*			
	350°C	**	**	*	*	**	*			
	550°C	**			**	*				
Y-8	Standard	*****	*****	*	***		*	*		
	AD	***	**							
	EG	**	**	*	*					
	350°C	**	*	*						
	550°C	**	**							
Y-10	Standard	*****	*****	*	**		*	*		
	AD	***	**	**						
	EG	***	**	**	*		*			
	350°C	****	*	**	*		*			
	550°C	***	**							
Y-11	Standard	*****	*****	*	***	**	*	*		
	AD	***	**	*	*	*	*			
	EG	**	**	*	*	**				
	350°C	*	**	*	*		*			
	550°C	***	**		*		*			

Standard mineral composition, AD: air dried, EG: ethylene glycolated, heated at 350°C and 550°C methods. The relative abundances from XRD peak heights are indicated by *

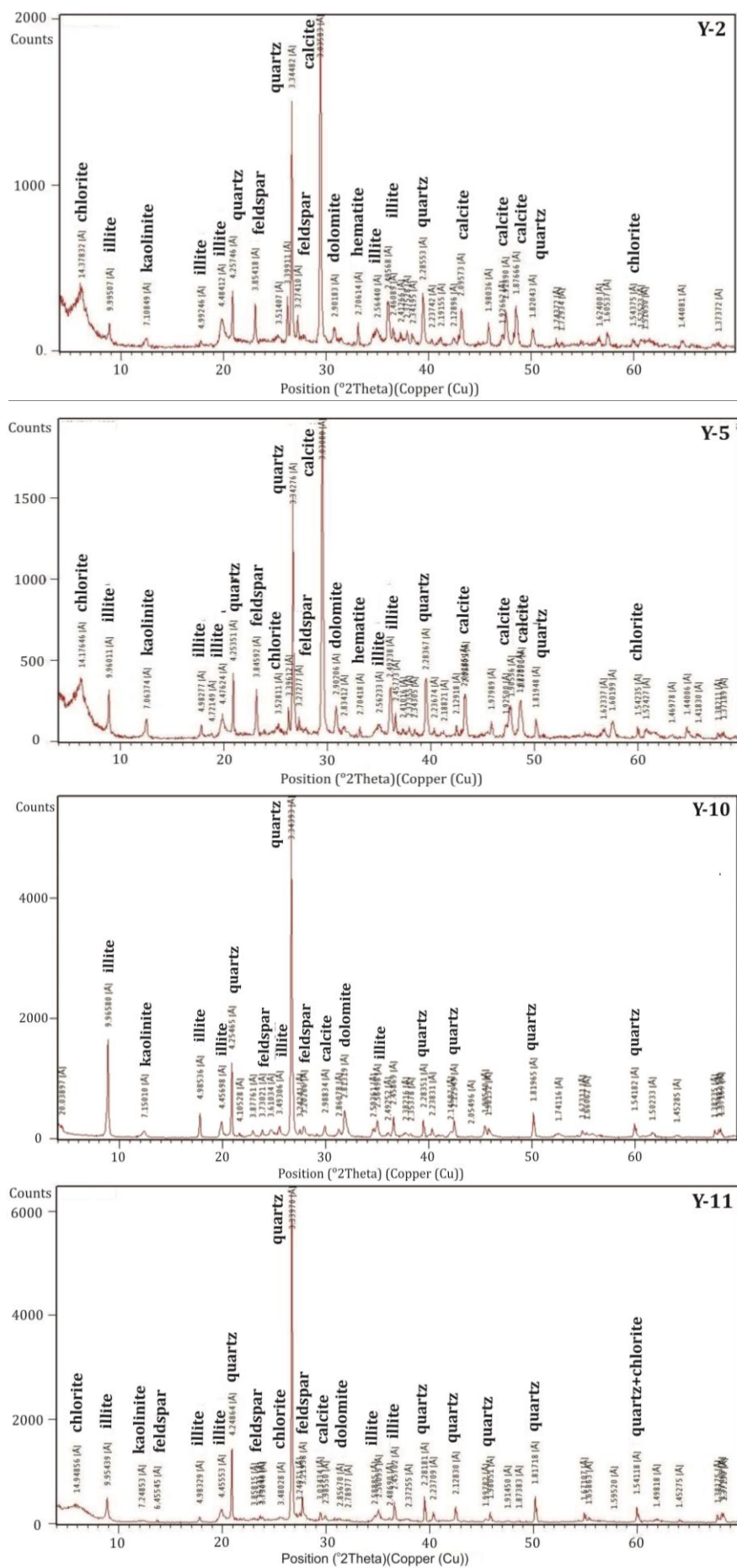


Figure 5. Representative XRD patterns of Yarikkaya clay localities (bulk samples).

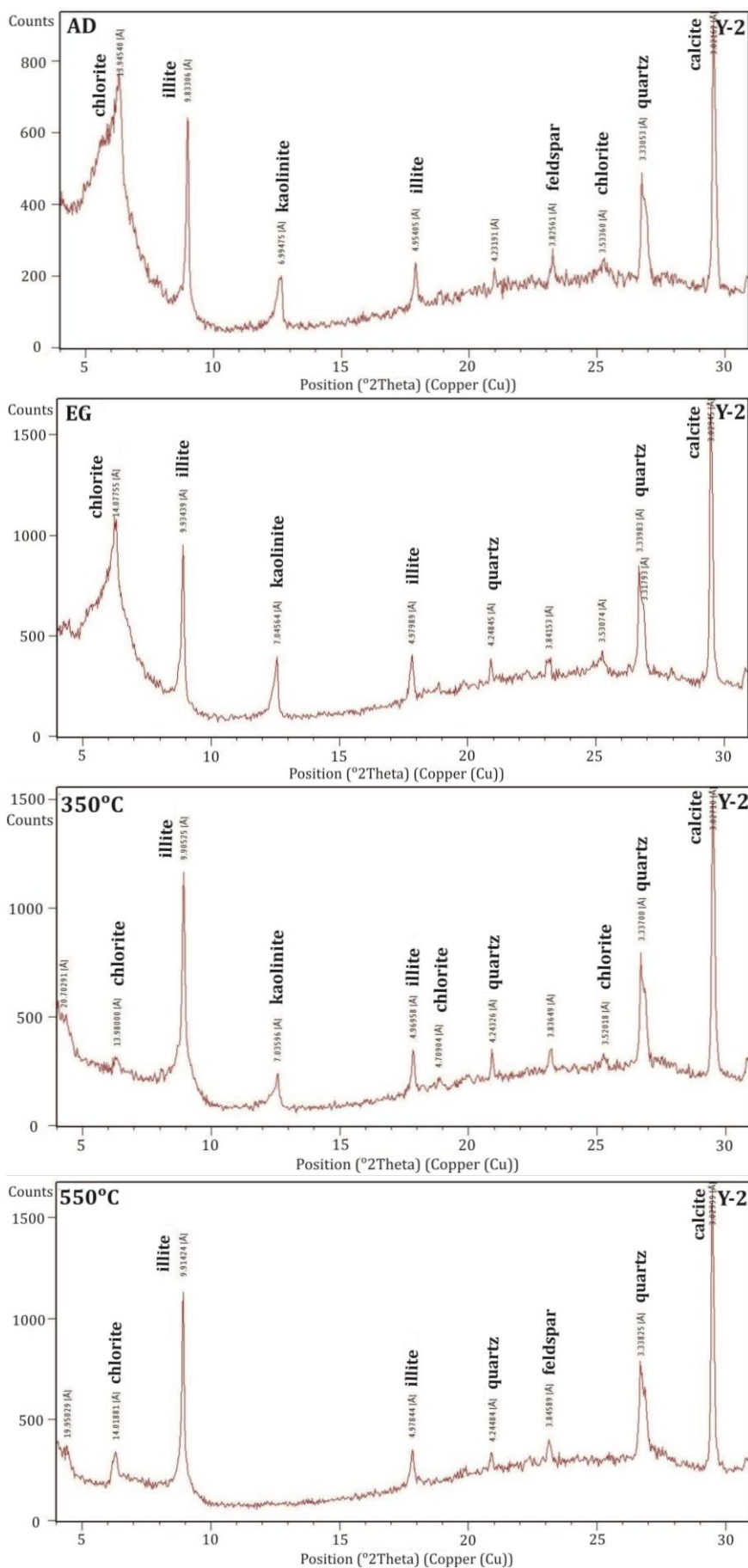


Figure 6. XRD patterns of Yarikkaya-1 clay after treatment. AD: Air dried, EG: ethylene glycolated, and heated at 350 and - 550°C.

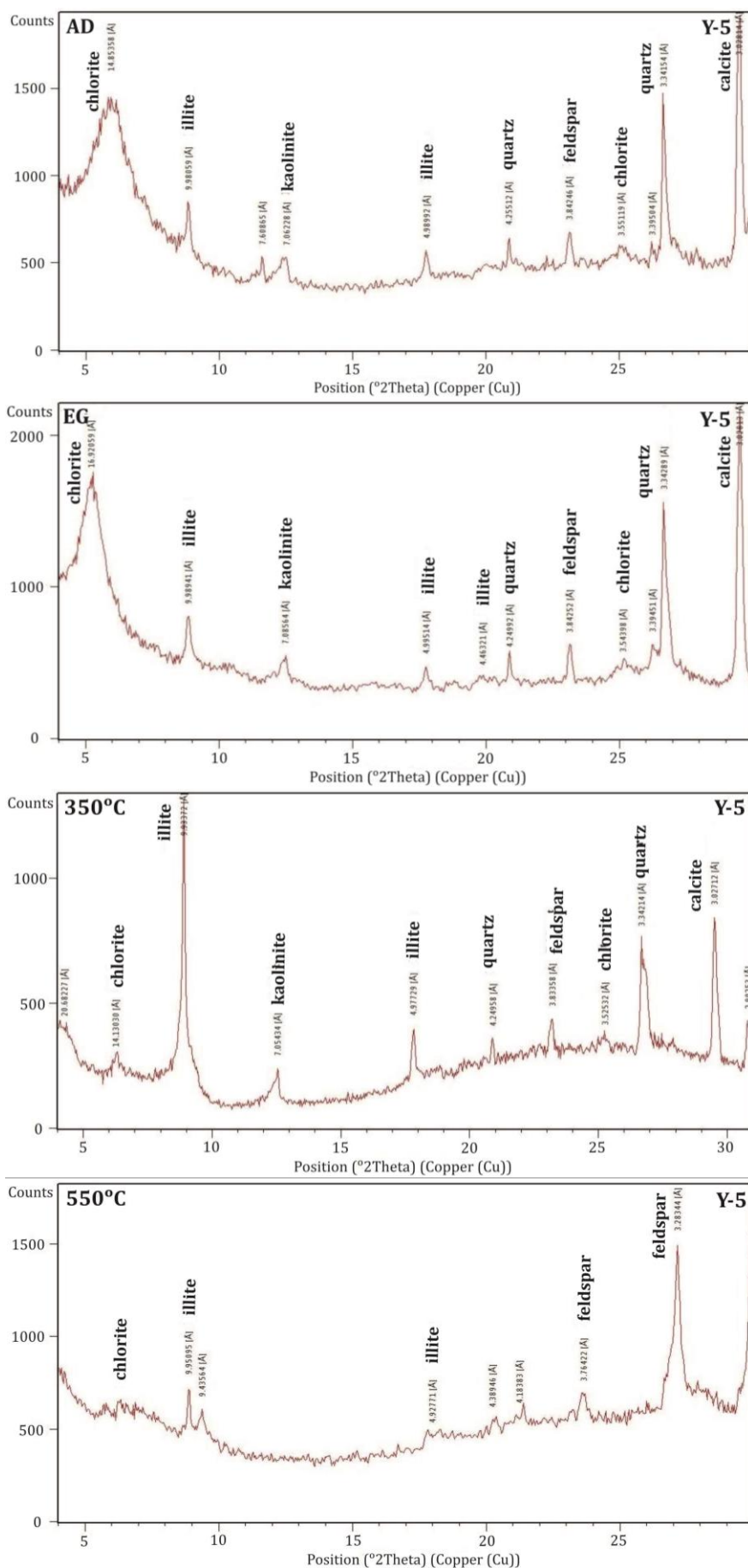


Figure 7. XRD patterns of Yarikkaya-2 clay after treatment. AD: Air dried, EG: ethylene glycolated, and heated at 350 and 550°C.

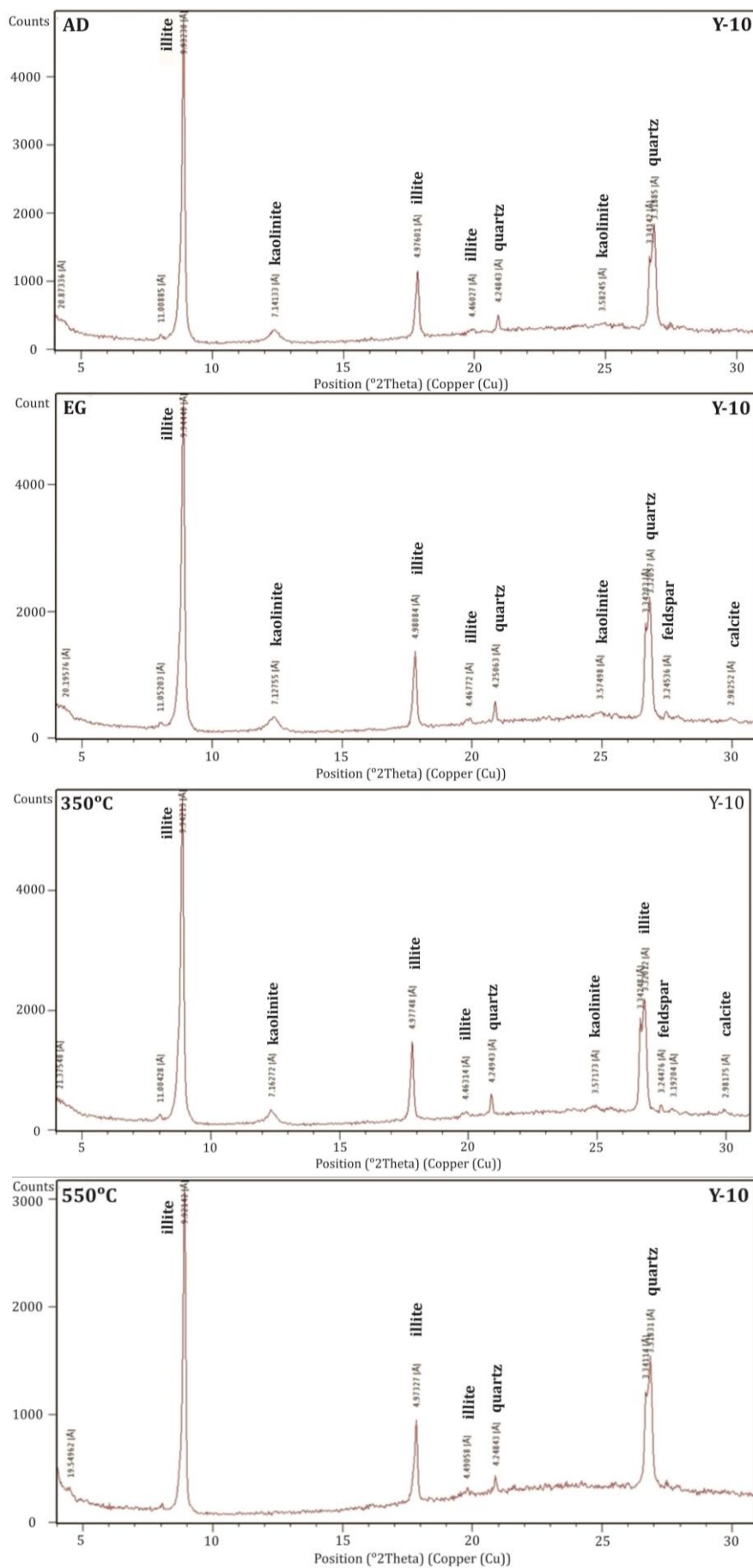


Figure 8. XRD patterns of Yarıkkaya-3 clay after treatment AD: Air dried, EG: ethylene glycolated, and heated at 350 and 550°C.

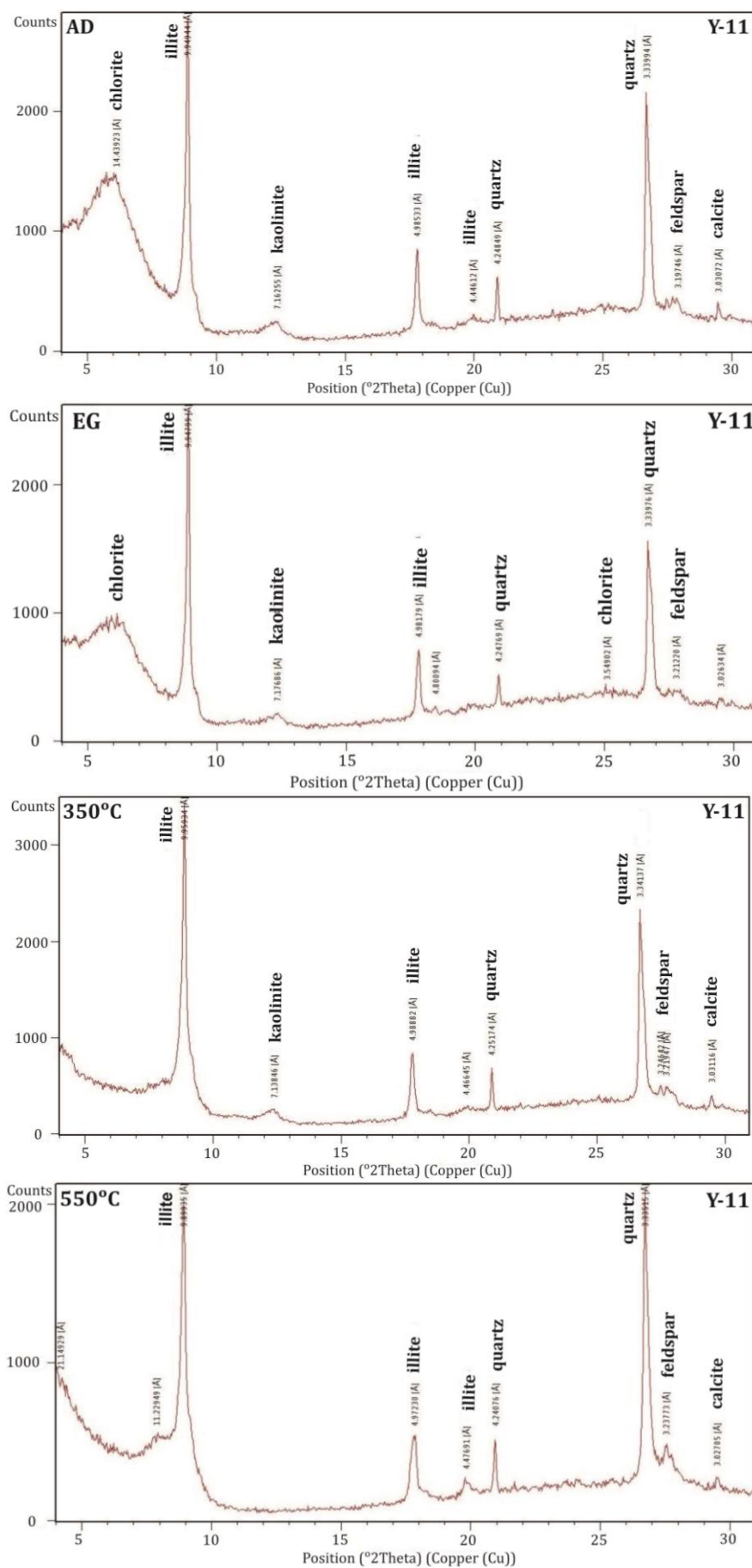


Figure 9. XRD patterns of Yarikkaya-3 clay after treatment AD: Air dried, EG: ethylene glycolated, and heated at 350 and 550°C.

3.3. Geochemical investigations

The results of the major-oxide analysis in the samples, taken from the clay formations in three coal quarries in the study area, are given in Table 2. SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Fe₂O₃, and Na₂O are the most important oxides that make up the chemical composition of these clays associated with coals.

Clay samples of the Yarikkaya-1 location have values between 30.81-33.36% SiO₂, 8.77-9.55% Al₂O₃, 1.32-1.51% K₂O, 4.01-5.30% Fe₂O₃, 2.49-2.90% MgO, 22.72-24.13% CaO. The clay sample of Yarikkaya-2 area contains 31.92% SiO₂, 7.36% Al₂O₃, 1.18% K₂O, 3.55% Fe₂O₃, 2.51% MgO, and 25.87% CaO. Values of clay samples belonging to Yarikkaya-3 area vary between 56.38 to 67.01% SiO₂, 14.10 to 25.24% Al₂O₃, 2.87 to 7.75% K₂O, 2.36 to 3.66% Fe₂O₃, 0.85 to 1.17% MgO, and 0.18 to 2.30% CaO. The concentrations of other oxides were measured below 1% in all three sites (Table 2). It is seen that the SiO₂, Al₂O₃ and K₂O values of the clay samples in the

Yarikkaya-3 quarry are higher than those of other locations and are rich in potassium clays. Fe₂O₃ contents of the samples taken from Yarikkaya-1 quarry are higher than those of the other two quarries. In addition, it is remarkable that the CaO and MgO contents of clay samples in Yarikkaya-1 and 2 quarries are very high compared to the values of Yarikkaya-3 quarry (Table 2).

The total carbon content of clay samples taken from Yarikkaya-1 and Yarikkaya-2 Quarries (5.45-6.14%) is considerably higher than those of Yarikkaya-3 quarry (0.14-0.46%). Total sulfur contents have similar values and low contents in three sites.

The variation in the abundance of Si, Fe, Mg, Ca, K, and Ti with the Al₂O₃ content in samples is shown in Figure 10. Fe, Mg and Ca elements display strong negative correlation with Al₂O₃. Si, K, and Ti elements show strong positive correlation with Al₂O₃. This shows that they are mainly concentrated in phyllosilicates (Figure 10. a, b, c, d, e, f).

Table 2. Major-oxide (%) and trace element (ppm) concentrations (%) of Yarikkaya samples and Average Post Archean Australian Shales (PAAS; data from [8])

Sample Location	Yarikkaya-1			Yarikkaya-2		Yarikkaya-3			Average	PAAS
Sample N.	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-8	Y-10	Y-11		
SiO ₂	33,11	30,81	32,45	33,36	31,92	56,38	63,56	67,01	43,57	62,80
Al ₂ O ₃	9,55	9,05	8,77	8,77	7,36	25,24	19,68	14,10	12,82	18,90
Fe ₂ O ₃	4,01	4,14	4,11	5,30	3,55	2,36	2,94	3,66	3,76	6,50
MgO	2,65	2,49	2,90	2,61	2,51	0,89	1,17	0,85	2,01	2,20
CaO	22,81	24,13	23,12	22,72	25,87	0,18	0,66	2,30	15,22	1,30
Na ₂ O	0,23	0,16	0,16	0,21	0,19	0,17	0,14	0,57	0,23	1,20
K ₂ O	1,51	1,32	1,35	1,44	1,18	7,75	6,01	2,87	2,93	3,70
TiO ₂	0,54	0,52	0,48	0,52	0,47	1,08	0,94	0,84	0,67	1,00
P ₂ O ₅	0,08	0,10	0,08	0,12	0,08	0,08	0,43	0,02	0,12	0,16
MnO	0,06	0,04	0,07	0,10	0,09	0,01	0,01	0,01	0,05	0,11
Cr ₂ O ₅	0,023	0,030	0,033	0,025	0,029	0,018	0,015	0,012	0,023	0,01
LOI	25,20	27,00	26,30	24,60	26,60	5,60	4,20	7,60	18,39	-
Total	99,77	99,79	99,82	99,78	99,85	99,76	99,76	99,84	99,80	-
Total C	5,45	6,14	5,58	5,57	6,14	0,18	0,14	0,46	3,71	-
Total S	0,07	0,04	0,02	0,12	0,02	0,25	0,03	0,02	0,07	-
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	17,68	17,40	18,27	16,86	15,66	23,37	20,94	16,79	19,13	18,90
Ba	256	273	260	252	257	737	406	333	346,75	650
Ni	133,7	225,1	150,9	240,3	145,1	7,5	34,4	15,7	119,09	55
Co	18,1	20,8	17,6	20,2	19,8	3,9	9,2	5,9	14,44	23
Cs	5,2	5,2	7,4	5,1	3,9	9,7	11,7	9,3	7,19	15
Ga	12,0	11,3	10,5	10,4	8,5	32,5	24,7	16,9	15,85	20
Hf	2,8	2,6	2,7	3,1	3,2	5,6	6,5	12,4	4,86	5
Nb	12,6	11,5	10,9	11,8	10,0	26,1	22,9	20,5	15,79	19
Rb	70,2	67,7	70,8	67,1	53,0	215,0	189,6	137,7	108,89	160
Sr	283,1	265,3	291,1	219,6	234,9	26,5	36,4	112,8	183,71	200
Th	9,2	8,1	8,2	8,6	7,2	17,2	22,2	22,0	12,84	14
U	2,6	2,2	2,2	2,1	2,0	3,0	3,9	3,2	2,65	3,1
V	89	89	102	85	67	150	136	94	101,50	150
Zr	109,5	93,1	102,0	116,4	123,8	213,8	248,0	477,0	185,45	210
Y	20,3	20,1	18,4	21,3	18,2	34,3	86,2	27,4	30,77	30
Sc	10	11	10	10	8	21	17	11	12,25	16
Cu	23,2	21,0	17,2	21,3	20,0	3,7	30,8	13,5	18,84	50
Pb	11,3	9,8	10,4	11,4	9,4	4,5	7,1	15,9	9,97	20
Zn	40	43	39	41	34	11	63	42	39,12	85

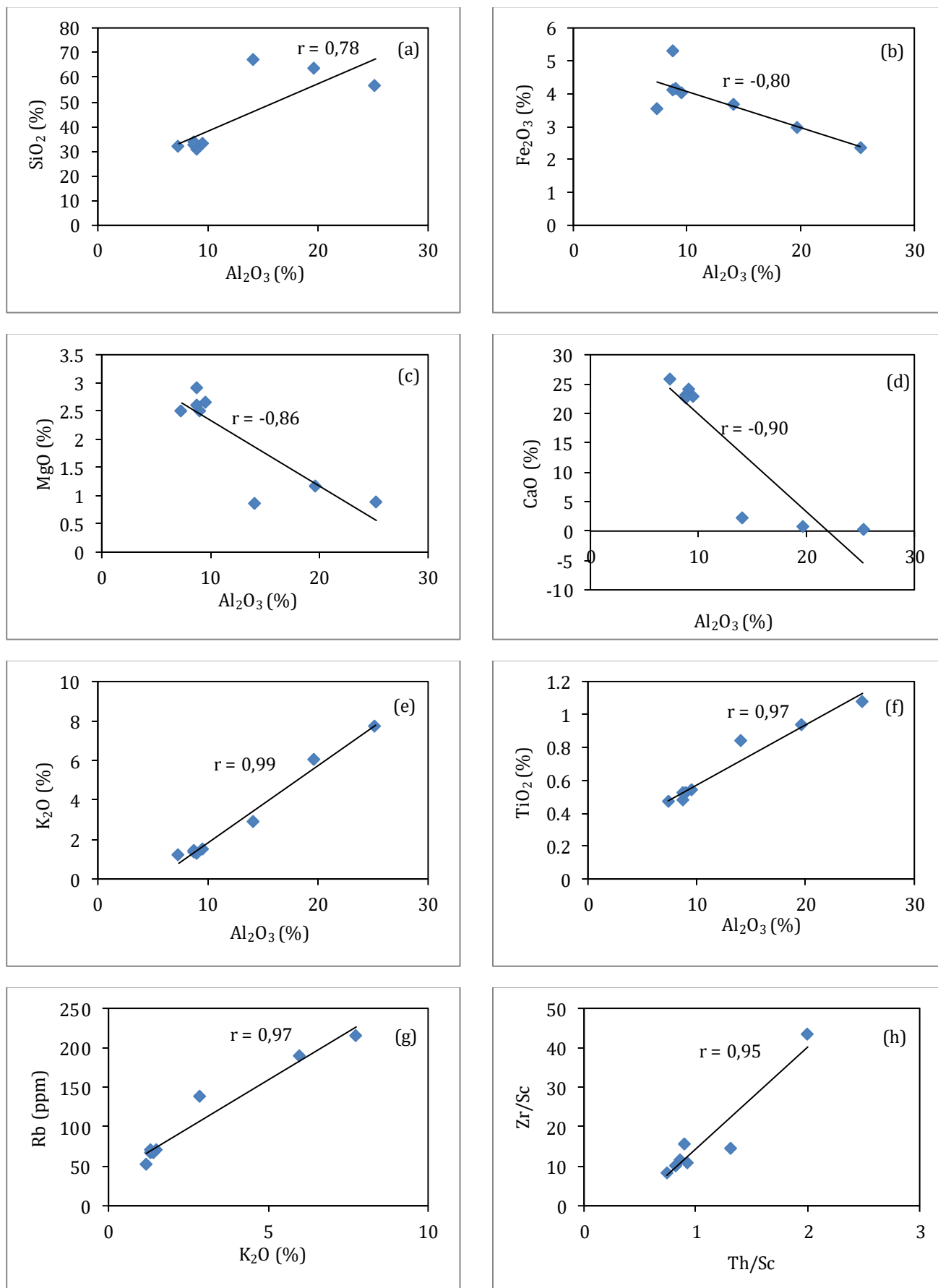


Figure 10. a, b, c, d, e, f. Correlation graphics between some major elements and Al₂O₃. g K₂O-Rb correlation, h. Correlation graphic between Th/Sc and Zr/Sc ratios.

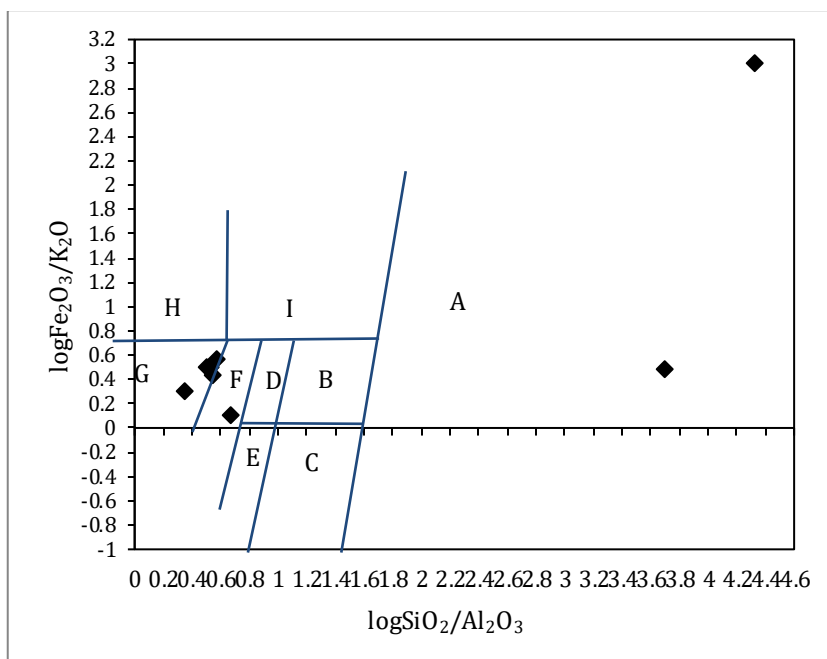


Figure 11. Chemical classification schema for Yarikkaya clay samples after [7]. A. quartz arenite, B. sublittarenite, C. subarkose, D. litharenite, E.arkose, F. greywacke, G. shale, H. Fe-shale, I. Fe-sand.

In log SiO₂/Al₂O₃ vs. log Fe₂O₃/K₂O of chemical classification schema modified from [7], major oxide compositions of clastic sedimentary rocks have been used to indicate the rocks of Yarikkaya clays. According to SiO₂/Al₂O₃ vs. Fe₂O₃/K₂O ratios in the diagram the rocks of Yarikkaya samples are defined as mainly shale, except two quartz arenite sample and one greywacke sample (Figure 11).

In Figure 12, major oxide elements were compared in Yarikkaya samples and Post Archean Australian Shale (PAAS; data from [8]). Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, TiO₂, and K₂O values in Yarikkaya clay samples are quite low compared to PAAS. MgO has approximately similar values, but CaO contents are quite high compared to PAAS. High calcium values are due to the fact that lacustrine sediments contain high amounts of calcite. All elements, except CaO, show compatible patterns with each other (Figure 12).

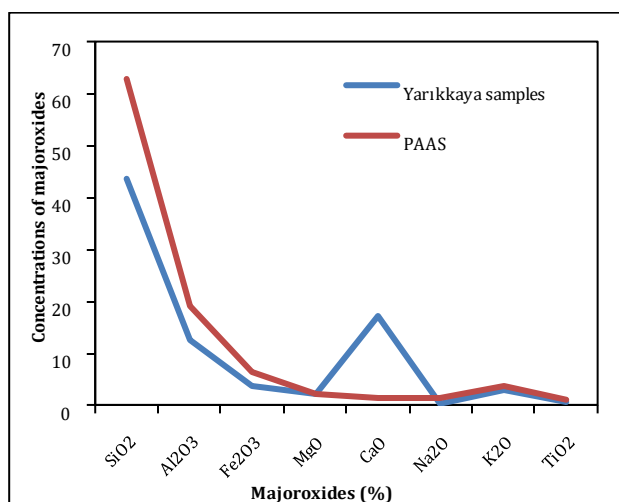


Figure 12. Major-oxide elements comparison of Yarikkaya samples and Post Archean Australian Shales (PAAS).

The trace element concentrations of the investigated samples are given in Table 2. Yarikkaya 1 clay samples have 252-273 ppm Ba, 133,7-240,2 ppm Ni, 17,6-20,8 ppm Co values. Cs, Ga Hf contents of clay samples in this location are 5,1-7,4 ppm, 10,4-12 ppm, 2,6-3,1 ppm, respectively. At the same location, Rb contents ranged from 67,1 to 70,8 ppm. Sr values in the Yarikkaya 1 quarry varied from 219,6 to 291,1 ppm. In this location clay samples, V and Zr ranged from 85 to 102 ppm, 93,1 to 116,4 ppm, respectively (Table 2).

In the Yarikkaya-2 quarry, one clay sample contains 257 ppm Ba, 145,1 ppm Ni, 19,8 ppm Co, 3,9 ppm Cs, 8,5 ppm Ga, 3,2 ppm Hf, 10 ppm Nb, 53 ppm Rb, 234,9 ppm Sr, 7,2 ppm Th, 2 ppm U, 67 ppm V. Zr, Y, Cu, Pb, and Zn in one clay sample in the same quarry have values of 123,8 ppm, 18,2 ppm, 20 ppm, 9,4 ppm, 34 ppm, respectively (Table 2).

Ba has a wide range of values between 333-737 ppm in Yarikkaya-3 quarry. At the same location, Sr displays values between 26,5-112,8 ppm. The Ni and Co contents of the clay samples in this location are 7,5-34,4 ppm and 3,9-9,2 ppm, respectively. The clays in Yarikkaya-3 location contain 9,3-11,7 ppm Cs, 16,9-32,5 ppm Ga, 5,6-12,4 ppm Hf, and 20,5-26,1 ppm Nb. Clays at this location include 137,7-215 ppm Rb, 17,2-22,2 ppm Th, 3-3,9 ppm U, and 94-150 ppm V. Zr, Y, Sc, Cu, Pb, and Zn values in the Yarikkaya-3 clay samples ranged from 213,8 to 477 ppm, 27,4 to 86,2 ppm, 11 to 21 ppm, 3,7 to 30,8 ppm, 4,5-15,9, and 11-63 ppm, respectively (Table 2).

Ba values are higher in the Yarikkaya-3 quarry samples than the other two sites. Sr has very high values in clay samples from Yarikkaya 1 and 2 localities compared to Yarikkaya 3 quarry. Zr shows

very high values in the Yarikkaya-3 quarry compared to those of clay samples in the other two sites. According to those of samples in the other two locations, clay samples in the Yarikkaya-3 location are more than twice for Nb and Th, and three times for Rb. Ni and Co contents have similar values in Yarikkaya 1 and 2 quarries clay samples. Yarikkaya 3 clay samples have very low Ni values. Th values have similar values in clay samples in Yarikkaya 1 and 2 sites. The concentrations of Cs, Hf, U, and Y are slightly higher in Yarikkaya-3 than in other sites. The vanadium contents of the samples in all three clay sites also differ (Table 2).

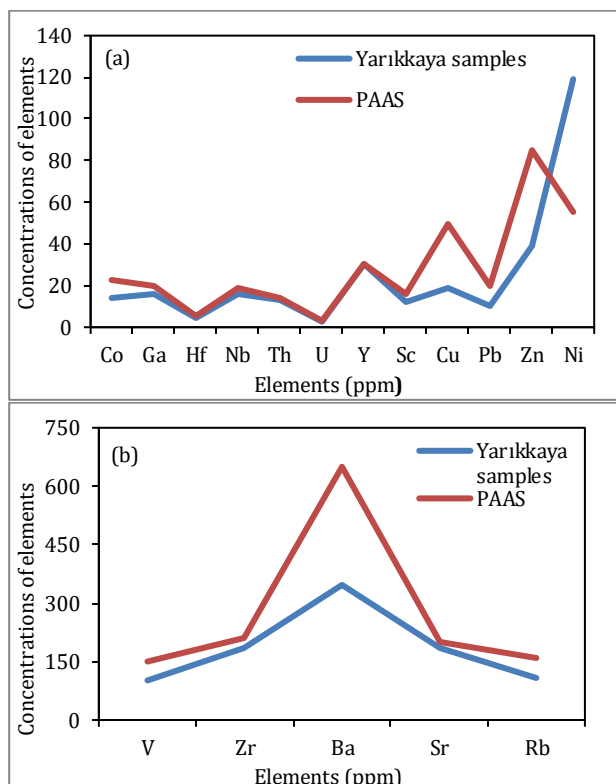


Figure 13. a, b. Trace element comparison of Yarikkaya samples and Post Archean Australian Shales (PAAS).

In summary, when the clay samples in three fields are evaluated for trace elements they generally show similar values to the trace elements of the clay

samples from Yarikkaya 1 and 2 locations. However, the trace element contents of the clay samples from the Yarikkaya 3 location generally provide different values from the trace element contents of the clay samples from the Yarikkaya 1 and 2 quarries.

In Figure 10.g Rb displays strong positive correlation with K_2O showing a similar geochemical behavior, K_2O and Rb are probably supplied by detrital components in samples [9]. There is also positive correlation between Zr/Sc and Th/Sc ratios (Figure 10.h).

In Figure 13, trace elements were compared in Yarikkaya samples and Post Archean Australian Shale (PAAS; data from [8]). Cu, Ba, Pb, Zn, Co, Zr, Ga, Rb, and V values in Yarikkaya clay samples are considerably lower than those of PAAS. Hf, Nb, Sr, Th, U, Y, and Sc contents of Yarikkaya samples and PAAS are approximately in similar amounts. Ni concentrations in Yarikkaya clay samples have higher values compared to those of PAAS. High values of nickel were probably caused by ophiolites in the near field. All elements except Ni display compatible patterns (Figure 13.a, b).

3.4. Usage properties of the clays

The SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, and K_2O values of the investigated clay samples were correlated with the standard values which are usage as brick-tile raw materials and the major oxide contents of other sub-coal clay deposits in our country (Table 3).

As shown in Table 3, only Fe_2O_3 and K_2O values of clay samples in Yarikkaya 1 and 2 locations are suitable as raw materials for the ceramic industry and brick-tile. Besides, in the Yarikkaya-3 field, it is seen that other major oxide contents of clay samples except for potassium oxide values can be used as a ceramic industry and brick-tile raw material. In other words, the potassium oxide values of clay samples in Yarikkaya-3 quarry are higher than those of clay to be used for ceramic and brick raw materials.

Table 3. Comparison of major-oxide values (%) of Yarikkaya clay samples with those of some sub-coal clay areas and brick-tile material standard values

Deposit Location	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	Literature
Şile, Kilyos (İstanbul)	57,0-65,0	25,0-28,0	1,8-2,2	0,3	2,2	[10]
Söğüt (Bilecik)	56,0-67,0	15,0-26,0	1,0-5,5	0,1-1,5	0,1-2,5	
Ukraina	56,05	29,76	0,88			[11]
Ilgın (Konya)	63,46	19,41	2,86			[1]
Tavşanlı (Kütahya)	39,74-69,42	9,72-29,61	2,70-10,57	0,21-9,63	0,31-2,70	[12]
Seyitömer (Kütahya)	44,62-63,11	15,84-24,86	1,69-9,25	0,59-5,75	0,40-3,43	[12]
Malkara (Tekirdağ)	45,90-53,62	14,74-16,52	5,22-8,67			[13]
Yarikkaya (Yalvaç)						
1 Quarry	32,43	9,04	4,39	23,20	1,41	
2 Quarry	31,92	7,36	3,55	25,87	1,18	
3 Quarry	62,32	19,67	2,99	1,05	5,54	
Brick-Tile Standard	42-64	15-20	2,80-7,00	0,70-9,50	0,60-1,70	[11]

The studied clay samples are geochemically compared to some sub-coal clay occurrences in Turkey. As a result of this comparison, the major oxide concentrations of clay samples in Yarikkaya-1 and Yarikkaya-2 locations are not compatible with both standard values and values of some clay fields for industry use. The values of samples in only Yarikkaya-3 quarry clays, excluding potassium oxide values, resemble Iğın and Söğüt clay formations (Table 3).

3.5. Yarikkaya Clay Formation

There are various opinions about the formation of sub-coal clays which are the product of a swamp environment. According to an idea, these clays are formed by the precipitation of the ashes of a fire in the coal forming forest. However, this idea does not explain the fact that the sub-coal clays have a very wide horizontal spread. According to the other idea, clays are fossil leaves. The layer seen just below the lignite veins is a vegetative soil produced by the coal vein forming forests. These soils are covered with peat formed by rotting plants. Covering them with top sediments, bottom clays are formed by diagenesis and partially altered during carbonization [14]. According to [15], the sub-coal clay layers are formed by the transformation of jelly-like clays resulting from the alteration of the deposited rocks.

Many researchers have emphasized that the sub-coal clays have a volcanic character. According to this idea, the rocks, which occurred as a result of volcanic activities undergo alteration, and deposit on stagnant waters to form sub-coal clays. According to [16], kaolinitic soils formed in swamps with the effect of acidic waters are more easily occurred than those formed on land. Based on this idea, occasionally, kaolinitic rocks occur on the shores of swamps which are inundated. The rocks dry out completely by surfacing with their movements in the basin. They have transported away after the destruction of the vegetation and formed sub-coal clays by sedimentation. In the opinion of [17], although the covered pyroclastic materials are rare, sub-coal clays have an in-situ formation in a lacustrine environment under a deep layer of water, which are precipitated from after being subjected to an insignificant move and clays have a volcanic origin.

Volcanic tuffs horizontally kaolinitized in the Carboniferous of Scotland and passed into sub-coal clays [18]. He reported that a kaolinitic material is formed by intense alterations of granitic rocks and covers large areas [19]. This material is deposited in a lake basin where carbonization occurs. This view can explain the wide horizontal extension of sub-coal clays, their fine grains, the smoothness of layers in which they occur and that they are always found with coal veins.

According to another view, decomposed and eroded material in the environment is transported to closed swamp basins by floods. Since they are transported at a very slow speed, the coarse-grained material remains around the basin. The relatively coarse grains of the material reaching the swamp are kept at the edges by the swamp plants and only colloid materials reach the basin. These materials, which reach into the basin, are altered by the circulation of the water during the sedimentation with CO₂ or organic acid waters or partly after the deposition. It is covered with a peat layer formed by swamp plants. They are compressed by other cover deposits and formed peat layer coal and clays in sediments. Although these are called bottom clays, clays of similar characteristics are also found in the top of coal layers [14].

At bottom of the Late Miocene aged three lignite coal levels in the Şile region, sub-coal clays were investigated [20]. They stressed that these clays are derived from Late Cretaceous calc-alkaline volcanic rocks (andesite). It was determined that the sub-coal clays were transported to the Miocene basin by primary decomposition processes of these volcanic rocks and after the transfer and storage, they underwent a second alteration in the swamp environment (organic system).

The composition of clay deposits is primarily controlled by the composition of the source rocks [21]. Provenance studies of clastic sedimentary rocks often reveal the composition and geological evolution of the sediment source areas and limit the tectonic setting of the depositional basin [22].

Al₂O₃/TiO₂ ratios of most sediments exhibit the average composition of the source area. Al₂O₃/TiO₂ ratios generally rise with increasing SiO₂ content. According to [23], the ratios range from 3 to 11 for mafic rocks, 11-21 for intermediate rocks and 21-70 for felsic rocks. The average Al₂O₃/TiO₂ ratios in Yarikkaya clay samples show intermediate source rock for these samples.

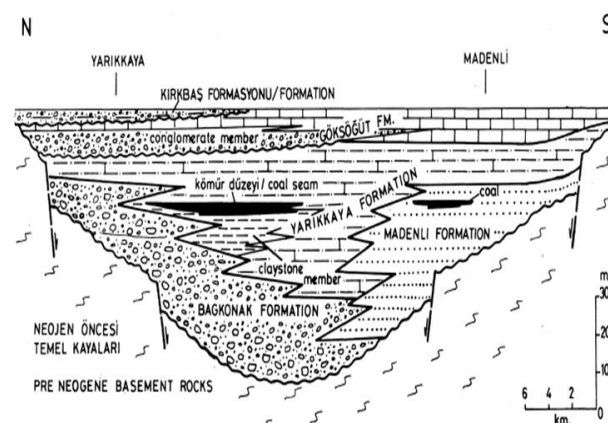


Figure 14. Lateral stratigraphic relations of Neogene rock units in the Yarikkaya basin [5].

The Yarikkaya clays associated with the coal deposits contain the clastics caused by the decomposition of lithologies of the Seydişehir formation in the basement stratigraphically, depending on their mineral composition and major-oxide contents. They probably occurred in relation to lacustrine sediments in the Yarikkaya basin (Figure 14).

4. Conclusion

The Yarikkaya clay deposits are outcropped in three locations where the coal mines are located in the Yarikkaya Neogene basin. The investigated claystone member is found within the Miocene Yarikkaya formation. The clay deposits are generally at the bottom of coal and sometimes at the upper parts of the lignite coal levels, or laterally transitive with clays. These clays are gray, dark gray and khaki. The thicknesses of the clays generally vary between 5-15 m and reach maximum 40 m thickness in the Yarikkaya-3 coal mine field.

The clays in the study area contain mainly illite, kaolinite and chlorite, and less smectite. From the three clay locations in the field, only the Yarikkaya-3 quarry clay samples are suitable for use as ceramic and brick-tile raw materials, based on the main oxide contents (56,38-67,01% SiO₂, 14,1-25,24% Al₂O₃ and 2,87-7,75% K₂O). In addition, Yarikkaya-3 quarry is rich in potassium clays.

According to SiO₂/Al₂O₃ vs. Fe₂O₃/K₂O ratios, Yarikkaya clay samples are mainly defined as shale, less greywacke and quartz arenite.

According to the average Al₂O₃/TiO₂ ratios, Yarikkaya clay samples show intermediate source rock.

Cu, Ba, Pb, Zn, Co, Zr, Ga, Rb, V are considerably lower, only Ni are higher contents of with respect to PAAS.

Yarikkaya clays related to coal deposits contain the clastics resulting from the decomposition of lithologies of Seydişehir formation stratigraphically at the base according to their mineral composition and major-oxide contents. Then, the clastics from decomposed were transported to Yarikkaya lake basin and the investigated clay deposits have probably occurred in association with lacustrine sediments.

Acknowledgment

This study contains a part of TÜBİTAK project data. The authors would like to thank Prof. Dr. Ahmet YILDIZ (Department of Geological Engineering, Afyon Kocatepe University) for help in interpreting X-ray diffraction graphs. In addition, we would like to thank TÜBİTAK 2209-A Research Project Support Program

(for Undergraduate Students) for providing financial support to this study.

References

- [1] Kuşcu, M., Yıldırımlar, Ş., 2016. Investigation of geological and economical properties of clays under Ilgın coal deposit. Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering 16, 368-383.
- [2] Brindley, G.W., Brown, G., 1980. Crystal structure of clay minerals and their X-ray identification. Mineralogical Society Monograph No. 5, Mineralogical Society, London, 485 p.
- [3] Poisson, A., Akay, E., Dumont, J.F., Uysal, S., 1984. The Isparta Angle: a Mesozoic paleorift in the Western Taurides. In: Ö. Tekeli and C. Göncüoğlu (Editors), Geology of the Taurus belt, Institute of Mineral Research and Exploration, Ankara, 11-26.
- [4] Yağmurlu, F., 1991b. Yalvaç-Yarikkaya Neojen havzasının tektono-sedimenter özellikleri ve yapısal evrimi. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 112, 1-12.
- [5] Yağmurlu, F., 1991a. Stratigraphy and depositional environments of Yalvaç-Yarikkaya Neogene basin, SW-Anatolia. Geological Bulletin of Turkey 34, 9-19.
- [6] Uzun, A.S., Bekiyev, M., Cengiz, O., 2019. Yarikkaya (Yalvaç - Isparta) çevresindeki kil oluşumlarının jeolojik ve ekonomik özelliklerinin araştırılması. TÜBİTAK-2209-A Üniversite Öğrencileri Yurtiçi Araştırma Projeleri Destek Programı, 70 p.
- [7] Herron, M.M, 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. Journal of Sedimentary Research 58 (5), 820-829.
- [8] Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312 p.
- [9] Plank, T., Langmuir, C.H., 1998. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. Chemical Geology 145 (3-4), 325-394.
- [10] DPT, 1995. Seramik - Refrakter - Cam Hammaddeleri. D.P.T., VII. Five-Yearly Development Plan, Special Expertise Commission Report, 2418 ÖİK, Ankara, 477 p.
- [11] Sazcı, H., 2001. Seramikte kullanılan killerin tanımı. 4. Industrial Raw Materials Symposium, İzmir, 28-42.
- [12] Türkmenoğlu, A. G., Işık-Yavuz, N., 2008. Mineralogy, chemistry and potential utilization of clays from coal deposits in the Kütahya

- province, Western Turkey. *Applied Clay Science* 42, 63-73.
- [13] Özbay, O., 2014. Malkara (Tekirdağ) yöresindeki kömüraltı killerin mineralojik - jeokimyasal incelemesi. Master Thesis, Balıkesir University Institute of Science 99 p.
- [14] Gök, S., 1985. Kil mineralleri ve killerin jeolojisi. Institute of Mineral Research and Exploration Department of Industrial Raw Materials, 43 p.
- [15] Hoehne, K., 1954. Zur Ausbildung und Genese der Kohlentonsteine im Ruhrkarbon. *Chemie der Erde*, 17 (1), 6-28.
- [16] Erhart, H., 1956. La genèse des sols en tant que phénomène géologique, Paris: Masson et Compagnie, 90 p.
- [17] Lombard, A., 1956. Géologie sédimentaire – Les séries marines, Paris: Masson et Compagnie, 722 p.
- [18] Francis, W., 1961. Coal: Its formation and composition. 2nd Edition. Edward Arnold Ltd. London, 806 p.
- [19] Nakoman, E., 1971. Coal. Institute of Mineral Research and Exploration, Education Series No. 8, Ankara.
- [20] Çoban, F., Ece, Ö.I., Yavuz., O., Özdamar, Ş., 2002. Petrogenesis of volcanic rocks and clay mineralogy and genesis of underclays, Şile Region, İstanbul, Turkey. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry* 178 (1), 1-25.
- [21] Armstrong-Altrin, J.S., Nagarajan, R., Madhavaraju, J., Rosalez-Hoz, L., Yong, L., Balaram, V., Cruz-Martinez, A., Avila-Ramirez, G., 2013. Geochemistry of the Jurassic and Upper source area weathering, provenance, and tectonic setting. *C.R. Geoscience* 345, 185-202.
- [22] Zaid, S.M., Gahtani, F.A., 2015. Provenance, diagenesis, tectonic setting and geochemistry of Hawkesbury sandstone (Middle Triassic), southern Sydney Basin, Australia. *Turkish Journal of Earth Science* 24, 72-98.
- [23] Hayashi, K.I., Fujisawa, H., Holland, H.D., Ohmoto, H., 1997. Geochemistry of 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochim Cosmochim Acta* 61, 4115-4137.

The Effect of Fouling on the Baffle Spacing of a Shell and Tube Heat Exchanger

Havva CEYLAN*¹, Buket ÇINAR GELİR²

¹Namık Kemal University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 59860, Tekirdag, Turkey

²Yünsa Worsted & Woolen Production and Trading Company, Department of R&D, 59500, Tekirdag, Turkey

(Alınış / Received: 22.01.2020, Kabul / Accepted: 18.09.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Keywords

Heat exchanger,
Baffle spacing,
Fouling

Abstract: In this study, shell-side fouling of the shell and tube heat exchanger (STHE) designed for a textile firm was examined. The economic baffle spacing was determined for clean and fouled conditions. The energy and pressure loss analysis was performed using Bell-Deleware method. To predict the fouling thickness (FT), a prototype tube bundle was installed in the chimney of the stenter machine to expose to the exhaust gases. The FT on tubes reached to about 0.5 mm within three months. Fuel saving (FS) due to recovered heat and fan power consumption (FPC) due to pressure drop were calculated by assuming that FT varies linearly with time. In the result of the cost analysis, it was seen that economic baffle spacing was affected by R value which is the ratio of unit cost of natural gas to that of electricity but the effect of fouling on the optimum baffle spacing was not significant. Fouling affected optimum baffle spacing when R is greater than 15. In this study optimum baffle spacing was determined as 1.16 m for both fouled and clean condition, because of that R is 3.52 in Turkey at the time of the study.

Kirlenmenin Bir Gövde-Boru Isı Eşanjörünün Şaşırtma Levhası Aralığı Üzerindeki Etkisi

Anahtar Kelimeler

Isı değiştiricisi,
Şaşırtma levhası aralığı,
Kirlenme

Özet: Bu çalışmada, bir tekstil firması için tasarlanan gövde borulu ısı eşanjörünün gövde tarafındaki kirlenmenin etkileri incelenmiş, temiz ve kirli koşullar için ekonomik şaşırtma levhası aralığı belirlenmiştir. Enerji ve basınç kaybı analizi Bell-Deleware yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kirlenme kalınlığını tahmin etmek için, ramöz makinesinin bacasına egzoz gazlarına maruz kalması için bir prototip boru demeti yerleştirilmiş ve üç ay içinde borulardaki kirlenme kalınlığının yaklaşık 0.5 mm'ye ulaştığı görülmüştür. Hesaplarda, kirlenme kalınlığının zamanla doğrusal olarak değiştiği varsayılmıştır. Maliyet analizi sonucunda, ekonomik şaşırtma levhası aralığının, doğal gazın birim maliyetinin elektriğin birim maliyetine oranı olan R değerinden etkilendiği, ancak optimum şaşırtma levhası aralığı üzerinde kirlenmenin etkisinin önemli olmadığı görülmüştür. Kirlenme, R nin 15'den büyük olduğu durumlarda optimum şaşırtma levhası aralığını etkilemiştir. Çalışmanın yapıldığı zamanda Türkiye'de R değerinin 3.52 olması nedeniyle hem kirli hem de temiz durumda optimum şaşırtma levhası aralığı 1.16 m olarak belirlenmiştir.

1. Introduction

Baffles are widely used in heat exchangers to increase the heat transfer coefficient by approaching the ideal counter flow and to prevent vibration by supporting the tubes. The reducing the distance between the baffles, which are called baffle spacing (BS), increases not only heat transfer but also pressure loss in resulting additional cost. According to this point of

view, baffle spacing is an important parameter that should be considered in heat exchanger design.

In literature, some studies have mainly focused on optimum BS. Abdelkader et al. [1] examined the effect of baffle spacing, baffle cut, tube arrangement, mass flow rate and fluid properties on performance of a STHE. According the results, as the number of baffles increases, the heat transfer coefficient and pressure drop increase on the shell-side. Soltan et al. [2]

*Corresponding author: hceylan@nku.edu.tr

studied the effect of BS on heat transfer area and pressure drop for segmentally baffled shell and tube condensers. Also, as a result of this research, they presented some correlation determining the optimum BS. Li et al. [3] investigated the effect of BS on the local heat transfer coefficients and pressure drop of STHE with segmental baffles. Eryener [4] determined the optimum ratio of baffle spacing to shell diameter by applying the thermoeconomic analysis method. Jozaei et al. [5] studied the effects of baffle spacing on pressure drop, heat transfer and estimated price in a STHE with single segmental baffles and staggered tubes layout in Iran, Arvand Petrochemical. They suggested the optimum baffle spacing for a sufficient heat duty, low cost and low pressure drop.

Heat exchangers tubes are coated with a fouling layer with low heat transfer coefficient over time. This layer worsens heat transfer and also increases pressure loss resulted in more power consumption and money loss. Therefore, fouling has been examined in different aspects, in the literature. Most of the research are based on understanding the fouling behaviours of heat exchangers, the fouling mitigation methods and the optimal cleaning schedule. Wang et al. [6] investigated the fouling characteristics of a H-type finned tube heat exchanger. The results showed that the increase in particle diameter and inlet velocity decreases the fouling resistance. WallhauBer et al. [7] conducted an overview with fouling monitoring methods (temperature and heat transfer parameters, pressure drop, acoustic methods, electrical parameters) in heat exchangers. Kim et al. [8] investigated the effects of using filtration in physical water treatment on mitigation of mineral contamination in a double-pipe heat exchanger. Markowski et al. [9] proposed a method for defining the effect of contamination on heat recovery in a heat exchanger network. A case study for optimal cleaning scheduling on individual exchangers was presented. Shen et al. [10] investigated the effect of the installation location of a heat exchanger relative to a wastewater pump on the contamination onto the surface of bundled tubes in a STHE. In addition, various design suggestions have been made by some researchers to reduce the effects of contamination. Bouris et al. [11] was numerically studied the fouling behavior for three different tube bundle configurations on lignite utility boiler heat exchangers. The results showed that the deposition rate decreased by 73% when using elliptical tubes. Mavridou et al. [12] proposed a new heat exchanger geometry that uses tubes of different diameters in an inline arrangement to study gas side particle contamination. Han et al. [13] examined the effects of parameters such as particle diameter, flow velocity and also tube shape and arrangements on fouling rate reduction in STHEs. Results show that using both oval tubes and staggered arrangements can reduce the fouling rate. Caputo et al. [14] described the

optimal design approach based on the minimization of the life cycle cost for STHE. This approach joints the optimization of both the equipment design and the cleaning policy. As seen from the article review, the number of articles on the heat exchanger design, where the effects of fouling are taken into account is relatively small. And also, heat exchanger design recommendations to reduce the fouling effects are focused on tube geometry.

This study was conducted to analyse the effect of fouling on baffle spacing. While some of above studies [1-4] did not take into account the effect of fouling on the optimum baffle spacing, Jozaei, A.F. [5] assumed a constant FT. In this study, the economic baffle spacing was determined by assuming that fouling thickness increased linearly with time.

2. Material and Method

2.1. Heat exchanger design

The mixture of combustion gas from the burner of the stenter machine, fresh air and recirculating air enters to stenter machine of the textile company and contacts the fabric. It gives heat energy to fabric and taken out of water vapor from fabric and then is exhausted to the atmosphere.

The STHE, shown schematically in Figure 1, was designed in order to utilize the heat of exhaust air from stenter. Fresh air from the factory environment flows through tubes and the exhaust air from the drying machine flows through shell side of STHE. The exchanger was designed with one-tube passes and the rotated square arrangement due to easy cleaning and its specifications were summarized in Table1.

Table 1. Specifications of the exchanger

Specifications	Value	
Inner tube diameter (m)	0.036	
Outer tube diameter (m)	0.04	
Thermal conductivity of stainless steel tube wall (k_{tube})(W/mK)	16.2	
Number of tubes(N)	365	
Length of tube (L) (m)	4.65	
Baffle cut (%)	30	
Fluid properties	Inlet shell side	Inlet tube side
Temperature (T)(°C)	150	30
Relative humidity (%)	-	46
Absolute humidity (kg_v/kg_a)	0.08	-
Volume flow rate (\dot{V}_s) (m^3/h)	15000	15000

2.2. Fouling resistance

Fouling resistance varies depending on the fouling thickness and the thermal conductivity of fouling

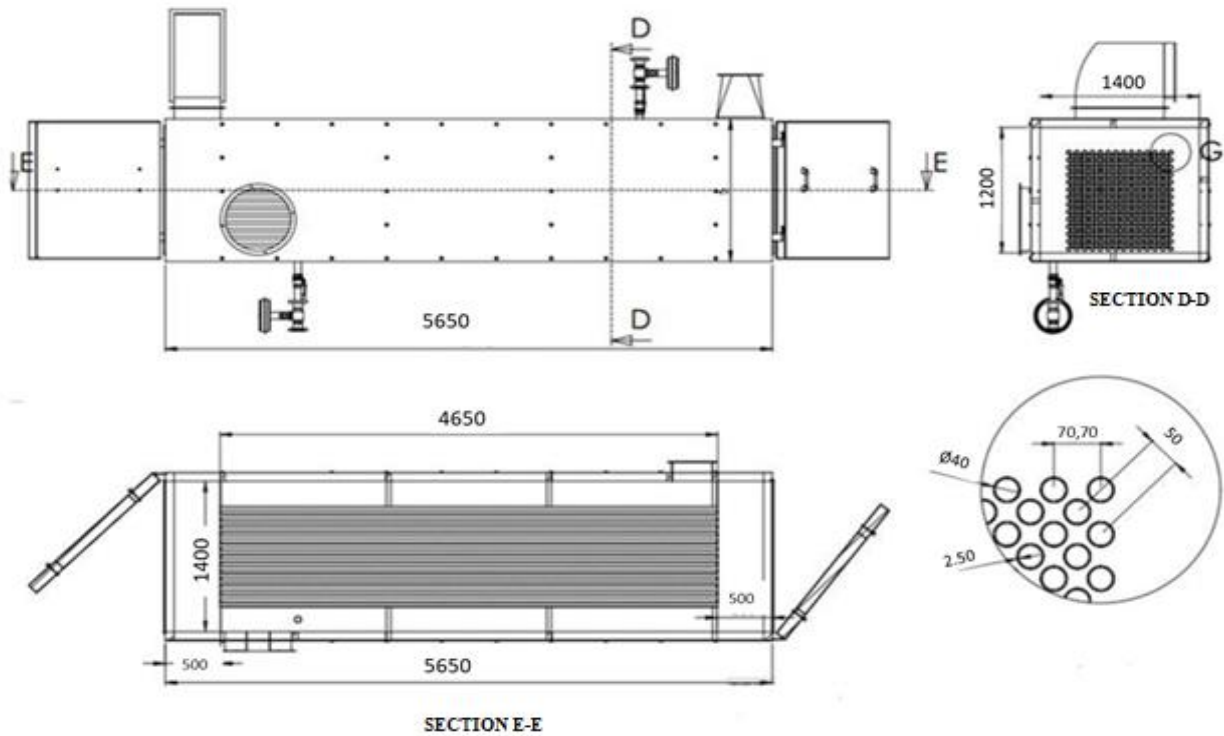


Figure 1. Drawing of the exchanger

layer. Fouling deposition in heat exchangers depends on many variables. Therefore each system should be evaluated considering its own operating conditions. In this study, the pollutants in the exhaust gases which passes through shell side are the gaseous compounds in the flue gases generated by combustion of natural gas, some wool fragments and oil. The thermal conductivity of fouling layer was assumed to be 0.05 and 0.1 W/mK considering these pollutants.

Additionally, a test was carried out to determine the FT. A tube bundle consisting of 100 stainless steel tubes with an outer diameter of 10 mm was manufactured. The distance between the tube centers is 12.5 mm. It was mounted in the chimney of stenter machine to expose to the exhaust gases.

It was seen that fouling thickness was in the range of 0.4- 0.7 mm at the end of three month operating period after mounting the tube bundle (Figure 2). FT was taken as 0.5 mm in calculations.



Figure 2. The photographs of the clean and fouled tubes.

2.3. Energy analysis

An iteration process which was summarized by the flow chart shown in Fig 3 was performed for determining the outlet temperature of tube and shell side hence recovered heat. Bell-Deleware method [15,16] was used in the energy and pressure loss analysis. Bell-Delaware method is simple and reliable enough to be used in engineering applications [17]. Kern method is another proposed method for calculating shell-side pressure drop and heat transfer coefficient. However, this method is restricted to a fixed baffle cut (25%) and cannot adequately account for baffle-to-shell and tube-to-baffle leakage [18].

Fluid passing through both sides of the exchanger was assumed as the humid air. The thermophysical properties of the humid air were determined by means of EES (Engineering Equation Solver). The shell side Reynolds Number (Re_s) based on outside tube diameter (d_o) is defined by Eq. 1.

$$Re_s = \frac{\rho_s w_s d_o}{\mu_s} \quad (1)$$

The velocity in cross flow zone, w_s , is defined as;

$$w_s = \frac{\dot{m}_s}{\rho_s A_s} = \frac{\dot{m}_s}{\rho_s (\sqrt{2}P - d_o) B \frac{H}{\sqrt{2}P}} \quad (2)$$

where A_s is the cross flow area at the shell centerline for one cross-flow between two subsequent baffles, P is the tube pitch ($P= 1.25d_o$), H is the heat exchanger width and B is the baffle spacing. The dimensionless Colburn factor $J_{h,B}$ in the Bell-Deleware method is

determined by Equation 3 according to the shell side Reynolds Number (Re_s).

$$J_{h,B} = a_1 \left(\frac{1.33}{P/d_o} \right)^y (Re_s^{a_2}) \quad (3)$$

The values of y is defined as follows:

$$y = \frac{a_3}{1+0.14(Re_s^{a_4})} \quad (4)$$

where, $a_1=0.370$, $a_2=-0.396$, $a_3=1.930$, $a_4=0.5$ for the rotated square arrangement that Re Number is in range $10^4 - 10^5$ [19]. Minimum and maximum Re Numbers of shell side are 13095 ($B=1,16$ m and no fouling) and 27183 ($B=0.58$ m, $\delta_f = 0.05$ mm and $k_{f2}=0.1$ W/mK) respectively.

F_n, F_w, F_b, F_L are the correction factors for the nonideal cross flow in a baffled heat exchanger. The combined effects of all these correction factors in a well-designed shell and tube exchanger is of the order of 0.6 [19].

In this study, the fouling only on the shell side was taken into account because of that the exhaust gases from the drying machine passes through shell side. The fouling thermal resistance was calculated as:

$$R_f = \frac{d_i}{2k_f} \ln \left(\frac{d_o+2\delta_f}{d_o} \right) \quad (m^2K/W) \quad (5)$$

where, k_f and δ_f are the thermal conductivity and the fouling thickness respectively, d_i and d_o are inner and outer diameter of tubes respectively.

Heat transfer due to the change in temperature of the tube side fluid is calculated in Eq. 6.

$$\dot{Q}_r = (\dot{m}c_p)_t (T_{to} - T_{ti}) \quad (6)$$

2.4. Pressure drop

2.4.1. Tube-side pressure drop

Tube-side total pressure drop for the fully developed laminar or turbulent flow was calculated by Eq. 7.

$$\Delta P_t = \left[\lambda_s \frac{L}{d_i} + \xi_y \right] \frac{\rho w^2}{2} \quad (7)$$

The sum of all local loss coefficients (ξ_y) in the in-tube stream was taken as 2.5 [20]. The coefficient of friction λ_s , for development zone of the turbulent flow in the tube which is assumed to be smooth was calculated by Equation 8.

$$\lambda_s = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad 10^4 < Re < 2 \cdot 10^5 \quad (8)$$

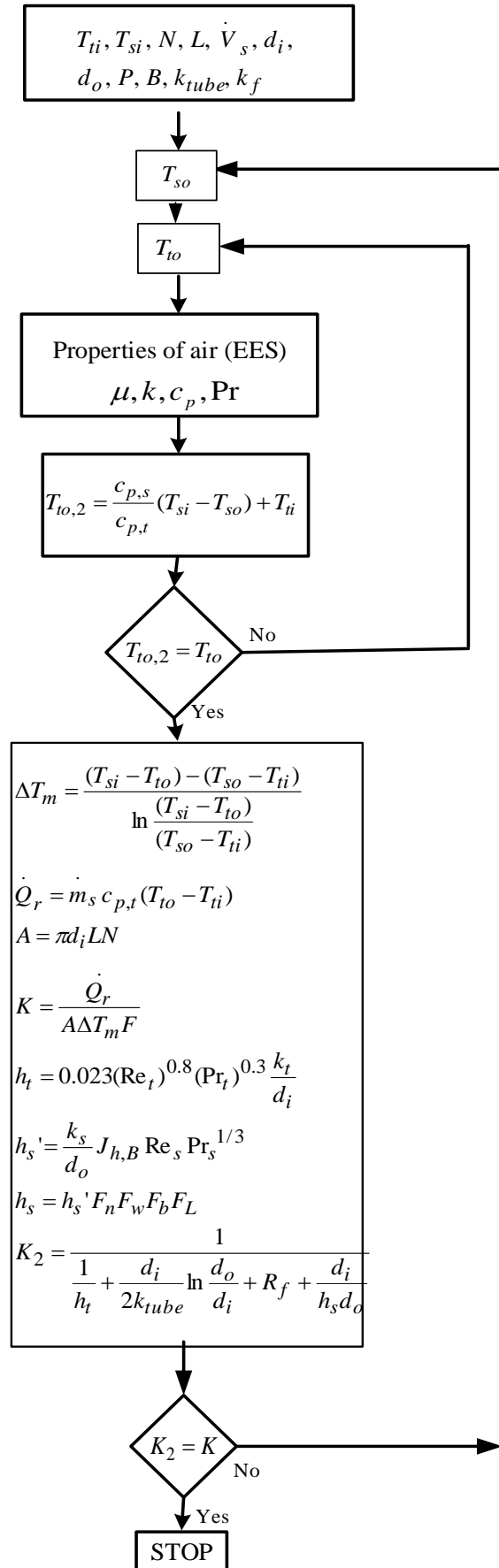


Figure 3. Energy analysis algorithm

2.4.2. Tube-side pressure drop

The total shell side pressure drop, ΔP_s , is the sum of three components. These are the pressure drop in the interior cross-flow sections, ΔP_b , the pressure drop in the window section, ΔP_w , the pressure drops at the shell entrance and exit, ΔP_e . These were calculated as the following Equations.

$$\Delta P_s = (N_b - 1)\Delta P_b + N_b\Delta P_w + 2\Delta P_e \quad (9)$$

$$\Delta P_b = R_L R_b \Delta P_{b,i} \quad (10)$$

$$\Delta P_{b,i} = 8J_f n_{cb} \frac{\rho_s w_s^2}{2} \quad (11)$$

$$\Delta P_w = R_L (2 + 0.6n_{cw}) \frac{\rho_s w_z^2}{2} \quad (12)$$

$$w_z = \sqrt{w_w w_s}, \quad w_w = \frac{\dot{m}_s}{\rho_s A_w} \quad (13)$$

$$\Delta P_e = \Delta P_{b,i} \left(\frac{n_{cw} + n_{cb}}{n_{cb}} \right) R_b \quad (14)$$

Where, N_b is the number of baffles, $\Delta P_{b,i}$ is the pressure drop for an ideal cross-flow section, n_{cb} is the number of tube rows crossed between baffle tips, n_{cw} is the number of tube rows crossed in the window zone, w_z is geometric mean velocity, w_w is window velocity, A_w is window area, R_b is the correction factor for bypass flow effects caused by the gap between the tube bundle and the shell inner diameter, R_L is the correction factor for baffle leakage effects. Typically, R_b is in a range 0.5 -0.8 and R_L is in a range 0.4 -0.5 depending on the construction type [19]. In this study, for R_b and R_L , the average values in these ranges were used. In the Bell-Deleware method, the dimensionless pressure multiplier J_f is determined by Eq. 15 based on the Reynolds number of the shell side.

$$J_f = b_1 \left(\frac{1.33}{P/d_o} \right)^y (Re_s^{b_2}) \quad (15)$$

The values of y is defined as follows:

$$y = \frac{b_3}{(1+0.14(Re_s^{b_4}))} \quad (16)$$

Where, $b_1 = 0.303$, $b_2 = 0.126$, $b_3 = 6.59$, $b_4 = 0.52$ for the rotated square arrangement that Re Number is in range $10^4 - 10^5$ [19].

2.5. Fuel saving and fan power consumption

Fuel saving (\dot{V}_f) due to recovered heat (\dot{Q}_r) was calculated by Equation 17.

$$\dot{V}_f = \frac{\dot{Q}_r}{H_u \eta_c} \quad (m^3/s) \quad (17)$$

Here, H_u is the lower heating value of natural gas as 34485 kJ/m^3 , η_c is the combustion efficiency as 0.90. The fan power consumption of tube side and shell side for overcoming friction losses were calculated by Eq.18 and Eq.19.

$$\dot{W}_t = \frac{\dot{V}_s \Delta P_t}{\eta_{ft}} \quad (18)$$

$$\dot{W}_s = \frac{\dot{V}_s \Delta P_s}{\eta_{fs}} \quad (19)$$

Where, η_{ft} and η_{fs} are the fan efficiency of tube and shell side, respectively, $\eta_{ft} = \eta_{fs} = 0.85$, \dot{V}_s is the volume flow rate of humid air in both tube and shell side.

By assuming that FT varies linearly with time, the graphs of fouling saving and power consumption were plotted against time by curve fitting for different baffle spacing and different fouling thermal conductivity. FS due to heat recovery and the power consumption of shell side fan during operating time (t_p) was found by integrating the Equations obtained by curve fitting.

$$V_f = \int_0^{t_p} \dot{V}_f dt \quad (m^3) \quad (20)$$

$$W_s = \int_0^{t_p} \dot{W}_s dt \quad (kWh) \quad (21)$$

2.6. Cost analysis

For the specified heat requirement, the energy related costs such as fan power and fuel cost should be known in order to optimize the BS in heat exchanger. Monetary values of the FS and the FPC were calculated by Equations 22 and 23.

$$M_f = V_f F_{ng} \quad (22)$$

$$M_w = W_T F_e = (W_t + W_s) F_e \quad (23)$$

where F_{ng} is the price of natural gas per m^3 , F_e is the price of electric per kWh, W_T is the total power consumption of the shell and tube side fans in kWh.

Monetary saving is the difference between monetary values of the FS and FPC.

$$MS = M_f - M_w \quad (24)$$

By using Equation 22 and 23, the Equation 24 can be written as follows:

$$MS = F_e (V_f R - W_T) \quad (25)$$

$$\frac{MS}{F_e} = (V_f R - W_T) \quad (26)$$

where, R is the ratio of F_{ng} to F_e and MS/F_e is monetary saving per unit price of electricity.

3. Results

Energy and pressure loss analysis of the STHE were carried out under clean and fouled conditions. The calculations were performed for two values of the fouling thermal conductivity ($k_{f1}=0.05$, $k_{f2}=0.1$ W/mK) and five fouling thicknesses in the 0.1-0.5 mm range when 7, 5 and 3 baffles (N_b) were used. The results were shown in Table 2. It can be seen from the Table 2 that fouling affects both the heat recovered and the pressure drop in STHes. As FT increases, the tube outlet temperature decreases and shell outlet temperature increases while the inlet temperatures are constant. The recovered heat and therefore fuel saving reduces due to the decrease in temperature differences.

It is known that the narrowing of the flow section increases the velocity. Table 2 shows that as FT increases, pressure drop due to increased velocity in shell side and therefore FPC increases. Since tube side fouling was not taken into consideration, the FPC of tube side is the same under clean and fouled conditions. Its values calculated by Equation 18 are

1.891, 1.902 and 1.907 kW for $B=0.58$, 0.775 and 1.16 m respectively.

As the BS increases, the total heat transfer coefficient decreases due to the increase in deviation from crossflow, thereby reducing heat recovery and fuel saving. And also, the pressure loss and therefore FPC reduces as BS increases. It is also seen that FPC decreases at a higher rate than FS as baffle spacing increases.

Figures 4 and 5 show the change of recovered heat and pressure drop in the STHE with the fouling thickness for k_{f1} and k_{f2} . The heat resistance in the tube wall increases due to the fouling layer with low thermal conductivity coefficient. At the same FT, the lower heat transfer coefficient causes lower heat recovered. It was seen from Figure 4 that the recovered heat for thermal conductivity of 0.05 W/mK decreases faster than for 0.1 W/mK as the FT increases.

It was seen from Figure 5 that the effect of fouling layer thermal conductivity coefficient on pressure

Table 2. The results of energy and pressure drop analyses for $B=0.58/ 0.775/ 1.16$ m

Thicknes of fouling layer (mm)	Thermal conductivity of fouling layer (W/mK)	Tube side outlet temperature (°C)	Shell side outlet temperature (°C)	Overall heat transfer coefficients (W/m²K)	Recovered heat (kW)	Shell side pressure loss (Pa)
Without fouling		93.41	86.81	29.93	276.9	5562
		91.43	88.79	28.10	269	2812
		88.28	91.94	25.42	256.4	1084
0.1	0.05	92.73	87.49	29.29	274.2	5593
		90.82	89.40	27.56	266.6	2829
		87.77	92.45	25.01	254.4	1091
	0.1	93.15	87.07	29.68	275.9	5596
		91.21	89.01	27.90	268.2	2830
		88.12	92.10	25.29	255.8	1091
0.2	0.05	92.07	88.15	28.68	271.6	5625
		90.21	90.01	27.03	264.2	2845
		87.26	92.96	24.61	252.3	1097
	0.1	92.88	87.34	29.43	274.8	5630
		90.98	89.24	27.70	267.2	2848
		87.96	92.26	25.16	255.1	1098
0.3	0.05	91.42	88.80	28.09	269	5657
		89.62	90.60	26.53	261.8	2862
		86.76	93.46	24.22	250.3	1104
	0.1	92.61	87.61	29.18	273.7	5665
		90.75	89.17	27.50	266.3	2867
		87.80	92.42	25.03	254.5	1105
0.4	0.05	90.78	89.44	27.52	266.4	5690
		89.04	91.18	26.04	259.5	2879
		86.27	93.95	23.84	248.3	1111
	0.1	92.34	87.88	28.93	272.6	5701
		90.52	89.70	27.30	265.4	2884
		87.62	92.60	24.89	253.8	1113
0.5	0.05	90.15	90.07	26.98	263.9	5723
		88.47	91.75	25.57	257.2	2896
		85.78	94.44	23.47	246.3	1117
	0.1	92.08	88.14	28.69	271.6	5736
		90.30	89.92	27.11	264.5	2902
		87.45	92.77	24.76	253.1	1120

drop is not as great as in heat recovery. Because the effect of the heat transfer coefficient on pressure drop is due to the change in fluid density. The effect of velocity on the pressure drop is more than density as seen from Equations 11 and 12. On the other hand the decrease in average fluid density depending on the outlet temperature in shell side tends to reduce the pressure drop. This trend is higher in lower heat transfer coefficients. Therefore the pressure drop for thermal conductivity of 0.1 W/mK increases faster than for 0.05 W / mK as the FT increases.

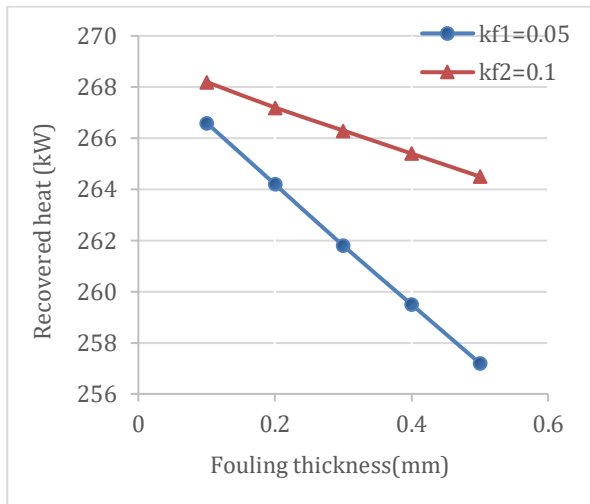


Figure 4. Change of recovered heat with fouling thickness.

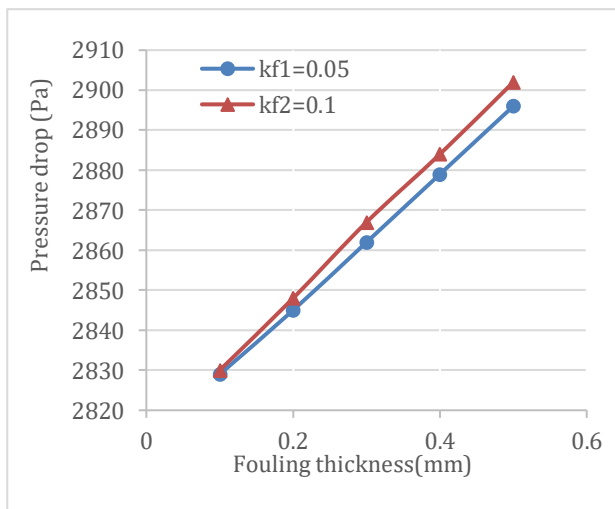


Figure 5. Change of pressure drop with fouling thickness.

The FT on tubes of prototype exchanger reached to about 0.5 mm within three month (1914 hours). (The operating time of stenter machine in one month is 638 hours). FS due to recovered heat and fan power consumption due to pressure drop were calculated by assuming that fouling thickness varies linearly with time. The graphs of fuel saving and FPC were plotted against time by curve fitting for different BS and different fouling thermal conductivity as shown in Figures (6)-(9).

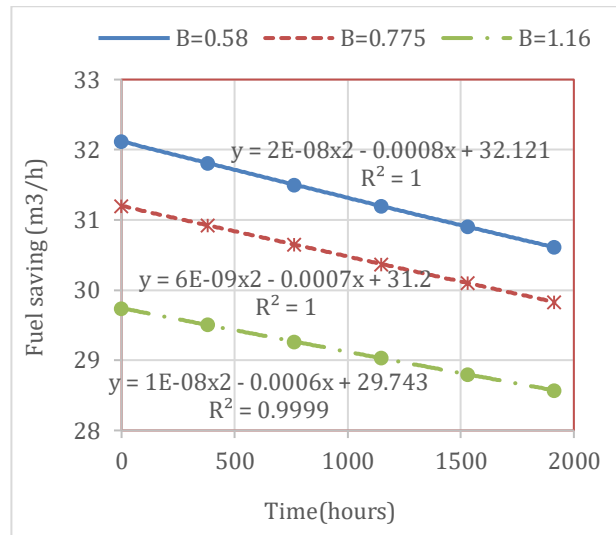


Figure 6. Change of fuel saving with time ($k_{f1}=0.05$ W/mK).

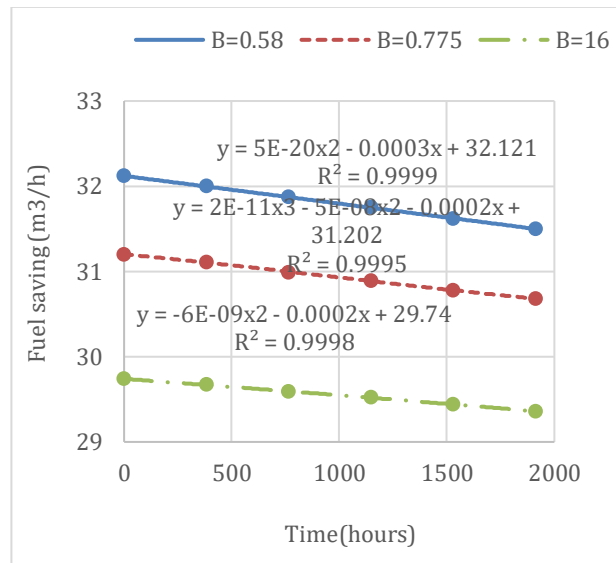


Figure 7. Change of fuel saving with time ($k_{f2}=0.1$ W/mK).

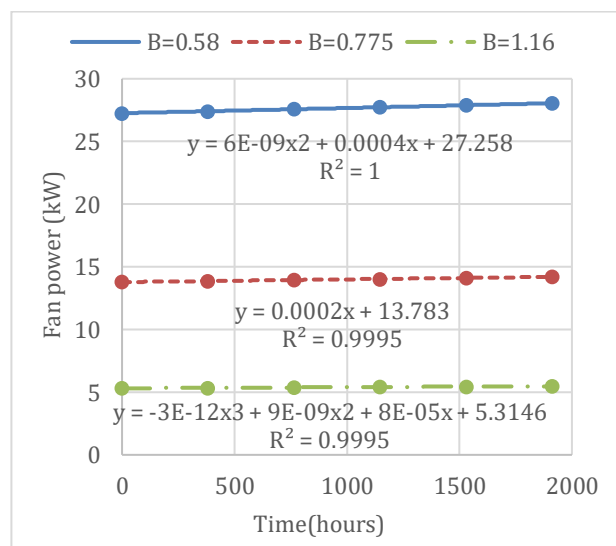


Figure 8. Change of fan power consumption with time ($k_{f1}=0.05$ W/mK).

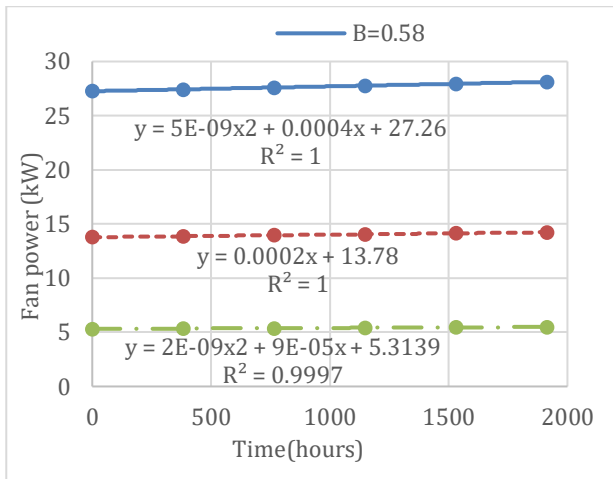


Figure 9. Change of fan power consumption with time ($k_{f2}=0.1$ W/mK).

Figures 6 and 7 show the same trend as Figure 4. It was seen from Figure 6 and 7 that as the FT and BS increase, the FS decreases due to the decrease of the recovered heat. The decrease in FS for thermal conductivity of 0.05 W/mK is faster than for 0.1 W/mK and also for a short BS is faster than for a long one.

Figures 8 and 9 show the same trend as Figure 5. It was seen from Figure 8 and 9 that the FPC increases as the FT increases and decreases as the BS increases depending on pressure loss. The effect of fouling layer thermal conductivity on FPC is not as great as on fuel saving. As the FT increases, the increase in FPC is almost the same for both thermal conductivity but for a short BS increases at a faster rate than for a long one.

Figure 10 shows monetary saving per unit price of electricity versus R value for the operating time of three months when $k_{f1}=0.05$ W/mK. As can be seen from Figure 10, monetary saving per price of electricity (MS/F_e) increases as R value increases for each BS and also optimum BS varies with R value. For R values smaller than 6, between 6 and 17 and bigger than 17, economic BS were found to be 1.16 m, 0.775 m and 0.58 m respectively for $k_{f1}=0.05$ W/mK.

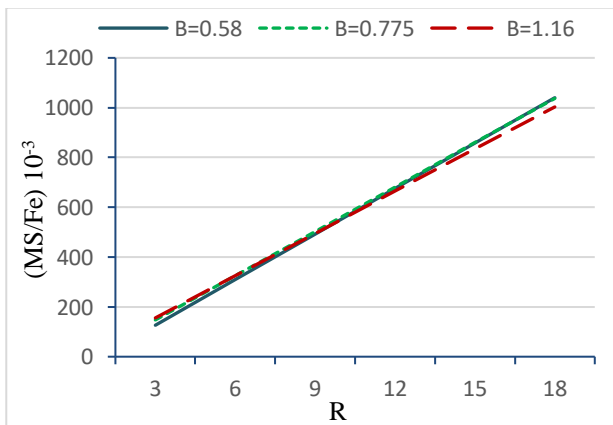


Figure 10. Monetary saving per unit price of electricity versus R value ($k_{f1}=0.05$ W/mK).

Table 3 shows optimum BS for R values in different fouling conditions. The effect of fouling on BS was seen for only large values of R. For example, for $R=17$, optimum BS is 0.58 m in case of three-month contamination whereas it is 0.775 m in case of six-month contamination. The thermal conductivity coefficient of fouling layer didn't affect optimum BS in case of three-month contamination, but it affected optimum BS in case of six-month contamination for large R values.

Table 3. Optimum baffle spacing

Baffle spacing (m)	No fouling	Three mounts operating		Six mounts operating	
		k_{f1}	k_{f2}	k_{f1}	k_{f2}
0.58	$R \geq 15$	$R \geq 17$	$R \geq 17$	$R \geq 18$	$R \geq 21$
0.775	$6 < R < 15$	$6 < R < 17$	$5 < R < 17$	$6 < R < 18$	$5 < R < 21$
1.16	$R \leq 6$	$R \leq 6$	$R \leq 5$	$R \leq 6$	$R \leq 5$

In this study, economic BS was determined as 1.16 m because R value is 3.52 in Turkey based on price of electricity and natural gas obtained from firm invoices as $F_e=0.21$ TL/kWh and F_{ng} 0.74 TL/m³. Table 4 shows monetary saving as Turkish Lira (TL).

Table 4. Monetary saving for $F_e=0.21$ TL/kWh, $R=3.52$

	Monetary saving (TL/three months)		
	B=0.58	B=0.775	B=1.16
Without fouling	33777	37887	39220
$k_{f1}=0.05$	32572	36882	38395
$k_{f2}=0.1$	33215	37505	38903

4. Discussion and Conclusion

In this study, the optimum baffle spacing of the segmentally baffled shell and tube exchanger was investigated in clean and fouled conditions. The results show that optimum baffle spacing varies with R value which is the ratio of price of natural gas to that of electricity, but the effect of fouling on the optimum baffle spacing is not significant. Fouling affected optimum baffle spacing for only large R values. In this study, optimum baffle spacing was determined as 1.16 m for both dirty and clean condition, because R is 3.52 in Turkey. The results obtained here are only for the present exchanger. The exchangers of other sizes and configurations should be specifically examined in the future research.

Acknowledgment

This study is based on a research supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK, TEYDEB Project Number: 3150652).

References

[1] Abdelkader, B. A., Zubair, S. M. 2019. The Effect of a Number of Baffles on the Performance of Shell and Tube Heat Exchangers. Heat Transfer Engineering, 40, 39-52.

- [2] Soltan, B. K., Avval, M. S., Damangir, E. 2004. Minimizing Capital and Operating Costs of Shell and Tube Condensers Using Optimum Baffle Spacing. *Applied Thermal Engineering*, 24, 2801-2810.
- [3] Li, H., Kottke, V. 1998. Effect of Baffle Spacing on Pressure Drop and Local Heat Transfer in Shell and Tube Heat Exchangers for Staggered Tube Arrangement. *Heat Mass Transfer*, 41(10), 1303-1311.
- [4] Eryener, D. 2006. Thermoeconomical Optimization of Baffle Spacing for Shell and Tube Heat Exchanger. *Energy Conversion and Management*, 47, 1478-1489.
- [5] Jozaei, A. F., Baheri, A., Hafshejani, M. K., Arad, A. 2012. Optimization of Baffle Spacing on Heat Transfer Pressure Drop and Estimated Price in a Shell and Tube Heat Exchanger. *World Applied Sciences Journal*, 18(12), 1727-1736.
- [6] Wang, F. L., He, Y. L., Tong, Z. X., Tang, S. Z. 2017. Real-time Fouling Characteristics of a Typical Heat Exchanger Used in the Waste Heat Recovery Systems. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 104, 774-786.
- [7] Wallhäußer, E., Hussein, M. A., Becker, T. 2012. Detection Methods of Fouling in Heat Exchangers in the Food Industry. *Food Control*, 27, 1-10.
- [8] Kim, W., Cho, Y. I. 2011. Benefit of Filtration in Physical Water Treatment for the Mitigation of Mineral Fouling in Heat Exchangers. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 38, 1008-1013.
- [9] Markowski, M., Trafczynski, M., Urbaniec, K. 2013. Identification of the Influence of Fouling on the Heat Recovery in a Network of Shell and Tube Heat Exchangers. *Applied Energy*, 102, 755-764.
- [10] Shen, C., Cirone, C., Yang, L., Jiang, Y., Wang, X. 2014. Characteristics of Fouling Development in Shell- and - Tube Heat Exchanger: Effects of Velocity and Installation Location. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 77, 439-448.
- [11] Bouris, D., Papadakis, G., Bergeles, G. 2001. Numerical Evaluation of Alternate Tube Configurations for Particle Deposition Rate Reduction in Heat Exchanger Tube Bundles. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 22, 525-536.
- [12] Mavridou, S. G., Bouris, D. G. 2012. Numerical Evaluation of a Heat Exchanger with Inline Tubes of Different size for Reduced Fouling Rates. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55, 5185-5195.
- [13] Han, H., He, Y. A., Tao, W. Q., Li, Y. S. 2014. A Parameter Study of Tube Bundle Heat Exchangers for Fouling Rate Reduction. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 72, 210-221.
- [14] Caputo, A. C., Pelagagge, P. M., Salini, P. 2011. Joint Economic Optimization of Heat Exchanger Design and Maintenance Policy. *Applied Thermal Engineering*, 31, 1381-1392.
- [15] Bell, K. J. 1988. Delaware Method for Shell Side Design. *Heat Transfer Equipment Design Hemisphere Publishing*, 41(10), 145-167.
- [16] Taborek, J. 1983. Heat Exchangers Design Handbook. Section 3.3. Shell and Tube Heat Exchangers: Single Phase Flow, Hemisphere Publishing, Washington, DC, 992 s.
- [17] Karimi Donaa, M. H., Jalaliradb, M. R. 2014. Software Evaluation Via a Study of Deviations in Results of Manual and Computer-Based Step-Wise Method Calculations for Shell and Tube Heat Exchangers, *International Journal of Applied Science and Engineering*, 12, 2, 117-126.
- [18] Kara, Y. A., Güraras, Ö. 2004. A Computer Program for designing of Shell-and-Tube Heat Exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 24, 1797-1805.
- [19] Kakaç, S., Liu H. 2002. *Heat Exchangers: Selection Rating and Thermal Design Second Edition*. CRC Press Taylor and Francis Group Publishing, Washington, DC, 520s.
- [20] Genceli, O. F. 1999. *Heat Exchangers*, Birsen Publishing, İstanbul, 424 s.

Appendices

Nomenclatures not defined in the study are given below.

Nomenclatures

c_p	specific heat capacity (kJ/kgK)
F	logaritmik sıcaklık düzeltme faktörü
h_t, h_s	heat transfer coefficient tube side and shell side (W/m ² K)
h_s'	heat transfer coefficient for pure crossflow in an ideal tube bundle (W/m ² K)
K	overall heat transfer coefficient, (W/m ² K)
k_{tube}, k_f	thermal conductivity coefficient of tube wall and fouling thickness (W/mK)
M_f	fuel cost related to fuel saving
M_w	energy cost related to power consumption
\dot{m}	mass flow rate (kg/s)
Pr	Prandtl number
\dot{V}_s	shell and tube side volume flow rate (m ³ /s)
ρ	density (kg/m ³)
μ	dynamic viscosity (kg/ms)
ΔT_m	logaritmik temperature difference

High Frequency RFID Module Design and Performance Comparison between Different Antenna Geometries for TV Applications

Heba YÜKSEL*¹ 

¹Bogazici University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 34342, Istanbul, Turkey

(Alınış / Received: 30.01.2020, Kabul / Accepted: 18.09.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Keywords

RFID Reader,
HF Antennas,
Reader Antennas,
NFC

Abstract: This paper examines the design of a 13.56 MHz Radio Frequency Identification (RFID) reader that is used in secure TV access applications. It also presents the performance analysis between different geometry and sizes of the reader's antennas in order to achieve the optimum operational excellence. Four different antenna geometries and sizes are designed and analyzed; square (4 loop and 6 loop), rectangular, and circular antennas. In order to find the best way for achieving the optimum performance, simulations, calculations, and measurements have been implemented by comparing the antennas in terms of gain, read distance, and cost performances with the availability of proximity of metals and smart cards, considering accuracy and reliability. The reader design for secure TV access is aimed to work with a passive tag. The rectangular antenna operated at the 13.56 MHz of frequency level with a return loss of -27 dB. The 6 loop square antenna and circular antenna operated with frequencies different than the optimum frequency of 13.56 MHz for the desired application, so the adjustments and other tests were not necessary for such antennas. It has been observed that for such TV applications, the best performance in terms of read range and gain, is achieved for a read distance up to 5 cm using the 4 loop square antenna operating at the 13.56 MHz of frequency level with a return loss of -30 dB. Some enhancement techniques to optimize system performance against the capacitive effects of close proximity to metals and smart cards are also discussed like detuning the capacitor values in the matching circuit. This paper aims to fill the gap in literature in observing RFID systems' performance with comparison of different size and geometry antennas by setting forth the best antenna geometry with metal and smart card effects.

TV Uygulaması için Yüksek Frekans RFID Modüllerinin Farklı Şekil ve Geometrideki Antenler ile Performans Karşılaştırılması

Anahtar Kelimeler

RFID Okuyucu,
HF Antenler,
Okuyucu Antenler,
NFC

Özet: Bu makalede, güvenli TV erişim uygulamaları için kullanılan 13.56MHz Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) okuyucunun tasarımı incelenmektedir. Ayrıca, optimum operasyonel mükemmellik elde etmek için okuyucu antenlerinin farklı geometri ve boyutları arasındaki performans analizini sunar. Kare (4 döngü ve 6 döngü), dikdörtgen ve dairesel antenler olmak üzere, dört farklı geometri ve boyutlu antenler tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Optimum performansa ulaşmanın en iyi yolunu bulmak için, antenleri kazanç, okuma mesafesi ve maliyet performansları açısından, simülasyonları, hesaplamaları ve ölçümleri yapıp, metaller ve akıllı kartların yakınlığı göz önünde bulundurularak, doğruluğu ve güvenilirliği karşılaştırarak yapılmıştır. Güvenli TV erişimi için tasarlanan okuyucunun pasif bir etiketle çalışması amaçlanmaktadır. Dikdörtgen anten 13.56 MHz ile çalışırken, geri dönüş kaybı -27 dB olarak tespit edilmiştir. İstenen uygulamada, 6 döngülü kare anten ve dairesel anten optimum 13.56MHz frekanstan farklı çalışmaktadır. Bu sebeple ek test ve ayarlamalar, konusu geçen antenler için gereksiz ön görülmüştür. Bu tür TV uygulamaları için en iyi sonucunu ise, 4 döngülü kare anten kullanarak, 13.56MHz çalışma frekansında dönüş kaybı -30 dB olarak ölçerek tespit etmiş olduk. Ek olarak sistem performansını, metal yakınlıklarından ve akıllı kartlardan kaynaklanan kapasitif etkilerin ortaya çıkardığı problemlere karşı optimize etmek için; eşleştirme ve kapasitans ayarlamak gibi teknikler tartışılmış, sunulmuştur. Bu makale, RFID sistemlerinin performansını, metal ve akıllı kart etkileri ile farklı boyutlu ve geometri antenleri karşılaştırmayı, en iyi anten geometrisini ortaya koyarak da literatürdeki boşluğu doldurmayı amaçlanmaktadır.

1. Introduction

RFID technology allows people to achieve a contactless identification of an item, an animal or a person by using radio waves. A basic RFID system usually includes two main devices; a reader and a transponder or tag. The reader initiates the communication with the tag and enables the identification operation. The reader includes an antenna as a component which can operate at frequency ranges from 125 KHz to 5.8 GHz. The reader's antenna generates the interrogating electromagnetic field which makes communication with the tag possible. The transponder, or tag, is located in the item that is required to be identified. The tags can be passive or active and they can have different geometry and material. Passive tags don't have their own power source, so they are powered and the communication is achieved by the incoming Radio Frequency (RF) communication signal from the reader. They have the shortest read range but they are also the cheapest at the same time. Another positive feature of such tags is they are the easiest when it comes to integrating into products and their life time is almost indefinite [1, 2].

RFID technology is commonly used in tracking products or any kind of goods, control of access by integrating the RFID technology to the ID cards, inventory management, and supply chain management. RFID is used not only in industry but it is also available for personal use such as, credit cards, and tickets for public transportation [3, 4]. The main advantages of the RFID technology are, shortening the transaction time, preventing the loss of information, improving the quality of data capture, and achieving higher productivity. The RFID technology offers functionality similar to the barcode, with additional advantages such as higher data capacity, larger readout distances and higher robustness.

The designed RFID reader in this paper allows users secure access into their personal menus in TVs, computers or e-boards with passive tags. This secure control of electronic devices is mainly used in offices, schools, hospitals etc. When a user operates the remote control to control the TV, the remote control unit's unique ID number is transmitted by the device's RFID tags and enables stand by voltage of electronic devices. However, the usage of RFID can lead to additional technological challenges. The most technological challenge for the aimed design is the proximity of metal. With locating any metal close to the system, some decays and unwanted bouncing of the radio waves occur. System accuracy and selectivity are highly important because wrong or missed readings will affect the system reliability in applications of secure control for electronic circuits. Therefore, optimization and trade off are required

both for the standards and obtaining maximum performance [5].

Several studies have underscored the fact that the performance of RFID systems in the proximity of metals and liquids was affected [6-15]. Also, some studies describe the effects of geometry of loop antennas on system performance [16]. However, very few literature studies are available about design selection considering functional performance and the effect of varying size and geometry of reader's loop antenna for high frequency (HF) RFID readers in metal environment and capacitive smart card effects. This paper aims to fill this gap in the literature through observing RFID systems' performance with comparison of different size and geometry antennas and setting forth the best antenna geometry with metal and smart card effects.

The RFID reader antenna and reader circuit for the desired secure TV access application is designed to fit inside the TV unit 1 cm inside the front cover. By locating the antenna there, minimum communication range would be greater than 1 cm. Like all other RFID applications, the maximum reading range is aimed for this work. For such designs, the cost and the size should be as minimum as possible while maintaining the accuracy. When the read distance increases, the accuracy rate of the systems decreases. The system accuracy is prior for such design, which requires the read distance to be minimized. The RFID system design that is defined in this paper allows communication up to 5 cm.

In this paper, we aim to achieve the most effective matching between the tag's antenna and the designed reader in a wide frequency band with a high level of accuracy. Also, factors that are affecting the performance of the reader's loop antenna such as, sizes and geometry, as well as the main considerations that are needed to be taken for choosing the right reader antenna are discussed. Four different antenna geometries and sizes are designed and analyzed; square (4 loop and 6 loop), rectangular and circular antennas. In order to find the best way for achieving the optimum performance, simulations, calculations, and measurements have been implemented by comparing the antennas in terms of gain, read distance, and cost performances with the availability of proximity of metals and smart cards, considering accuracy and reliability.

RFID designs face some challenges such as following communication protocols, EMC limitations, and obtaining long read range with small size antenna at high system accuracy. After simulations and measurements have been implemented, the optimum results imply the usage of the 4 loop square antenna design with a return loss of -30 dB and a frequency level of 13.56 MHz. Such design is in the limits of the

regulation while having the most efficient operational excellence.

2. Material and Method

2.1. RFID reader design

RFID systems consist of a reader (interrogator) which includes an RF transmission system, a receiver, data decoding and antenna transmit sections. Another main component of RFID systems is the tag (transponder) which consists of a microchip and an antenna. The last main component of RFID systems is a computer or a database. Those main elements are shown in Figure 1 [17].

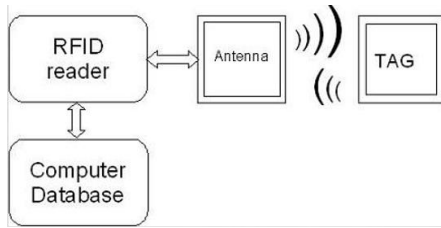


Figure 1. Sample RFID system

The system is aimed to operate with a frequency of 13.56 MHz which is classified as HF RFID system. Communication and power of the HF RFID system are achieved through electromagnetic coupling between the reader and the tag. The tag consists of an antenna coil and a silicon chip that includes basic modulation circuitry and non-volatile memory. Passive RFID tags need an induced antenna coil voltage for operation from the reader. The reader antenna coil produces a time-varying magnetic field to energize the tag.

For such TV authorization application at 13.56 MHz, the NXP PN531 transmission module, which puts together the modulation and demodulation for contactless communication, is the optimum module. By using different transfer speeds and modulation protocols, the PN512 transmission module supports the Read/Write mode for ISO/IEC 14443 A/MIFARE and ISO/IEC 14443B [18, 19].

There are some factors that the operating distance of NXP contactless NFC reader ICs depends on:

- Antenna matching.
- Receiver sensitivity.
- Size of the antenna in the reader system.
- Antenna size of the communication partner.
- External parameters (e.g. metallic environment and noise).

The example application circuit of the PN531 transmission module is shown in Figure 2 [19].

With the usage of a proper antenna and other system components, the main IC should be tuned to a center frequency of 13.56 MHz with impedance of 50 ohms.

The Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) should be less than 1.2 to achieve the optimum performance.

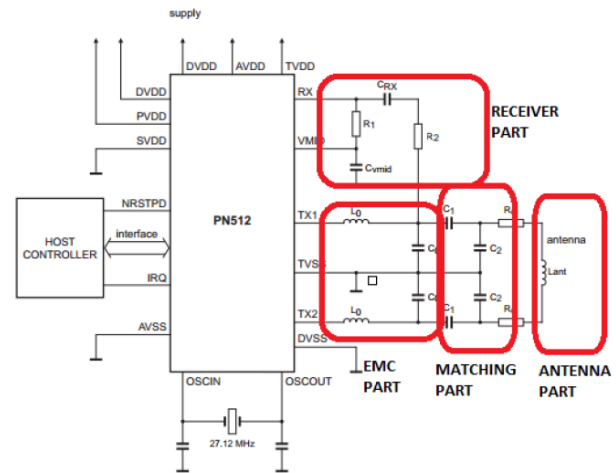


Figure 2. Sample application diagram of PN531 (Philips Semiconductors, 2004) [19]

Figure 3 gives the circuit diagram for the Antenna, matching circuit and EMC filter which will be designed in the next subsections [20].

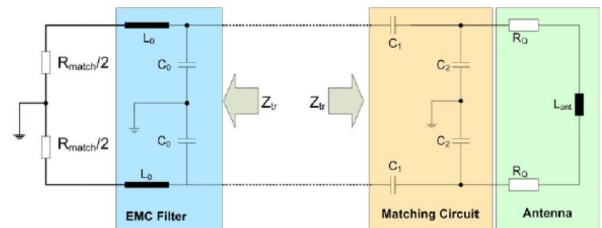


Figure 3. Circuit diagram showing the EMC filter, matching circuit and antenna [20]

2.2. Antenna design

Main functions of the antenna can be defined as, storing charge as capacitance, resisting to the changes in current as inductance and radiating power as resistance. The antenna type should be taken under consideration while doing the configurations of the circuit. In the resonance frequency that is in use, the series resonant circuit results in minimum impedance. For that reason, it gets the maximum current at the resonance frequency. The series equivalent model of the antenna is shown in Figure 4 [20].

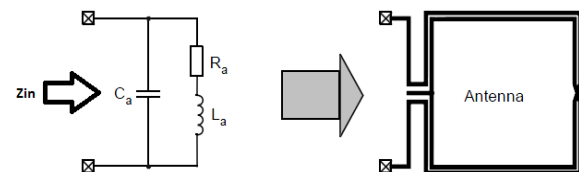


Figure 4. Series equivalent model for the antenna (NXP Semiconductors, 2010) [20]

Having a parallel resonant circuit gives the maximum impedance at the resonance frequency. For that

reason, maximum voltage can be obtained at the resonance frequency. For the desired application, the use of double loop antenna coil which includes two parallel antenna circuits would give the optimum performance. Figure 5 shows the parallel equivalent model of the antenna [20].

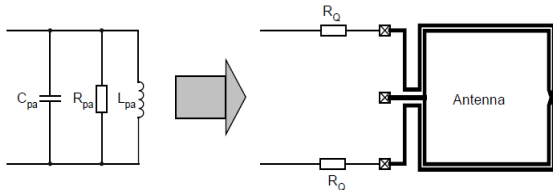


Figure 5. Parallel equivalent model for the antenna (NXP Semiconductors, 2010) [20]

The inductance for the loop reader antenna at the frequency of 13.56 MHz is in the range of a few microhenries. Matching the low inductance numbers gets significantly difficult while the margin for error becomes smaller. When the bandwidth increases, the Q factor gets lower. The reader antenna windings and the path to the antenna can be defined as the ratio of the total reactance of the resistance. Voltage amplification have to be given for the required bandwidth due to the reason that Q's magnitude is about twice as the voltage amplification factor. Antennas with large reactance and low numbers of resistance can be used to match the tag at one frequency, with sufficient power transfer and voltage multiplication, but this would cause the performance to go lower in the usage of other frequencies [21, 22].

For low cost applications, the most commonly used dielectric material is FR4 which is also used for the desired application. Figure 6 and Table 1 show the physical dimensions of the antenna.

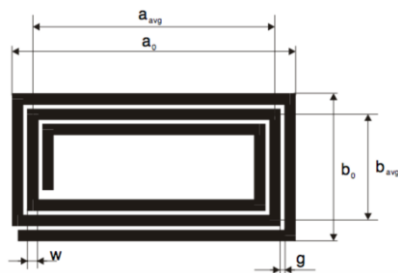


Figure 6. Modelling rectangular planar antenna [23]

Table 1. Physical dimensions of the rectangular reader antenna.

a_0 (Overall dimension of the coil) [mm]	b_0 (Overall dimension of the coil) [mm]	t (Track width) [mm]	w (Track width) [mm]	g (Gap between tracks) [mm]	N_a (no. of turns)
61	34	35	0.38	0.25	6

Table 2 shows the properties of the substrate material and Figures 7 and 8 show the model and layout of the 6-loop rectangular antenna.

Table 2. Properties of the dielectric material.

Dielectric Material	Permittivity	Thickness of dielectric	Conductor	Thickness of conductor
FR4	4.6	1.55 mm	Cu	35 μ m (top and bottom)



Figure 7. Reader antenna model of the rectangular antenna

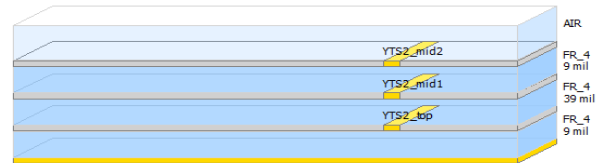


Figure 8. Layout of the rectangular reader antenna

There are 4 different size and geometry antennas designed and their performances are analyzed: 4-loop square antenna (dimensions: 8x8cm, area: 64 cm², length of coil: 243.36 cm), 6-loop square antenna (dimensions: 8x8cm, area: 64 cm², length of coil: 346.56 cm), 6-loop rectangular antenna (dimensions: 6.2x3x5 cm, area: 21.7 cm², length of coil: 136.68 cm), and circular antenna (dimensions: $r_{out} = 3$ cm, $r_{in} = 2.8$ cm, area: 18.85 cm², length of coil: 72.848 cm).

The 6-loop rectangular antenna is modelled using the Advanced Design System (ADS) Momentum analysis software and its input impedance simulation results can be seen in Figure 9.

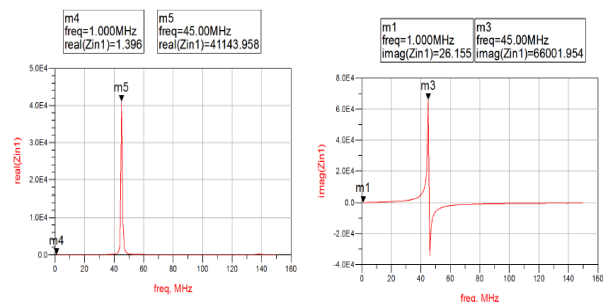


Figure 9. Simulated input impedance results using ADS

The results of the loop antenna by the values of series inductance (L_a) and series resistance (R_s) are well below the self-resonance frequency of the antenna, but they are sufficient enough for good measurement accuracy. Those values can be measured or adjusted by using the following formulas evaluated at 1 MHz frequency [20];

$$L_a = \frac{imag(Z_{in})}{2\pi f} = 4.15\mu H \quad (1)$$

$$R_s = \text{real}(Z_{in}) = 1.38\Omega \quad (2)$$

The location in the simulation input impedance figure where the imaginary part of the input impedance crosses the positive axis to negative, the self-resonance frequency of the coil can be determined. The results of the modelled antenna which is measured in ADS gives;

$$f_{res} = 46.2 \text{ MHz}$$

The series equivalent resistance R_a of the antenna is measured taking into account the parallel and series resistances of the antenna. Those calculations can be seen in the Figure 10.

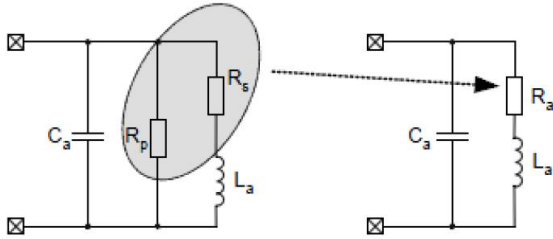


Figure 10. Antenna series equivalent resistance calculation

The parallel resistance at the self-resonance frequency is calculated as $R_p = 41.2\text{k}$. This result is caused by the skin-effect. For the desired application, the antenna is designed to operate at the frequency of 13.56 MHz. For that reason, the value of the resistance has to be corrected according to the frequency dependency of the skin effect. The correction factor is modelled in Equation 3 [23];

$$R_p(13.56 \text{ MHz}) = \sqrt{\frac{f_{res}}{f_0}} \times R_p = 76.05 \text{ k}\Omega \quad (3)$$

Calculations of the antenna's series equivalent resistance and parallel equivalent resistance give:

$$R_a = R_s + \frac{(2\pi f_0 L_0)^2}{R_p(13.56 \text{ MHz})} = 3.03 \Omega \quad (4)$$

$$R_{pa} = \frac{(2\pi f_0 L_0)^2}{R_a} = 11.06 \text{ k}\Omega \quad (5)$$

Calculation of the capacitance of the antenna gives;

$$C_a = \frac{1}{(2\pi f_{res})^2 L_a} = 2.9 \text{ pF} \quad (6)$$

2.3. Quality factor

The sharpness or selectivity of the resonant circuit is determined by the quality factor. High Q factor causes the antenna to radiate more energy. The reason which makes the quality factor having a significant role in determining the constraints is, high Q factor would result in a limited bandwidth and long-time constants which causes defects in the signal during

the test setup. The Quality factor of the antenna is calculated as;

$$Q_a = \frac{w_{res} L_a}{R_a} = 116.93 \quad (7)$$

and the value of R_Q resistor is calculated as;

$$R_Q = 0.5 \left(\frac{w_{res} L_a}{35} - R_a \right) = 4.38\Omega \quad (8)$$

2.4. EMC filter design

One of the functions that the EMC filter circuit, shown in Figure 2, offers is the filtering of the signal as well as the impedance transformation block. To obtain the broadband receiving characteristics, the EMC filter resonance frequency (f_{r0}) has to be close to the upper side band frequency determined by the highest data rate (848 kHz sub carrier) in the system. L_0 is chosen as 560nH and f_{r0} is calculated as;

$f_{r0} \geq 13.56 \text{ MHz} + 848 \text{ MHz} = 14.408 \text{ MHz}$ and chosen as $f_{r0} = 14.4 \text{ MHz}$.

C_0 is calculated as,

$$C_0 = \frac{1}{(2\pi f_{r0})^2 L_0} = 221.2 \text{ pF} \quad (9)$$

The values of the EMC circuit parameters are given in Table 3.

Table 3. EMC matching circuits parameters

Parameter	Value	Comment
L_0	560 nH	EMC filter inductance
C_0	221.2 pF	EMC filter capacitance

2.5. Matching circuit design

The antenna should be matched to 50 Ohms and has to be tuned to radiate with a quality factor of 35. Therefore, the load at 13.56 MHz should match the 50 ohms driver impedance, R_{match} . The capacitances are used to match the inductive load and to build a resonator [24, 25]. A serial capacitor, C_1 , and a parallel capacitor, C_2 , are used as a matching network as given in Figure 3 [20].

EMC filter and matching circuit must transform the antenna impedance to the required TX matching resistance $Z_{match}(13.56\text{MHz})$. The following equations are needed to calculate the matching components [23],

$$Z_{TR} = R_{TR} + jX_{TR} \quad (10)$$

where;

$$R_{TR} = \frac{R_{match}}{(1 - w^2 \times L_0 \times C_0)^2 + (w \times C_0 \times \frac{R_{match}}{2})^2} = 216.7 \Omega \quad (11)$$

$$X_{tr} = 2w \frac{(1-w^2 \times L_0 \times C_0)^2 \times L_0 - \left(\frac{R_{match}}{4}\right)^2 C_0}{(1-w^2 \times L_0 \times C_0)^2 + \left(w \times C_0 \times \frac{R_{match}}{2}\right)^2} = -57.83 \Omega \quad (12)$$

Series and parallel capacitances can be calculated using the following equations,

$$C_1 = \frac{1}{w \sqrt{\frac{R_{tr} \times R_{pa}}{4} + \frac{X_{tr}}{4}}} = 16.02 \text{ pF} \quad (13)$$

$$C_2 = \frac{1}{w^2 \frac{L_a}{2}} - \frac{1}{w \left(\sqrt{\frac{R_{tr} \times R_{pa}}{4}}\right)} = 45.2 \text{ pF} \quad (14)$$

The resistor R_1 in combination with R_2 in the receiving part as shown in Figure 2 is a voltage divider which regulates the voltage level at the receiver (RX) pin. The voltage level should not exceed 3 V_{pp}, but should be maximized for optimum Read/Write (R/W) performance. The measurement of the voltage level at the RX pin needs to be done with a low capacitance probe. Furthermore, those measurements need to be done in the final housing/position as well as with different loads (targets) which detune the antenna and detects the RX signaling [23].

The receiver's components are defined by the experimental results. Maximum write distance is obtained where the voltage at the RX pin is 2.8V with components;

- $C_{RX} = 1\text{nF}$ (DC blocking capacitor),
- $C_{vmid} = 100\text{nF}$ (decoupling capacitance),
- $R_1 = 1\text{k}$ (voltage divider part),
- $R_2 = 2.7\text{k}$ (voltage divider part).

Figure 11 shows our reader design with the rectangular antenna. Using the calculated component values in our experiment, the desired carrier frequency ($f_0=13.56 \text{ MHz}$) was not achieved. With calculations based on simplified equations, it is hard to determine the equivalent circuit values with 100% accuracy. For that reason, fine tuning of the matching circuit is a necessary process. For tuning, simulations using the ADS software is an effective software to use. For the designed system, in order to achieve the optimum performance, the proper values of the matching components, C_1 and C_2 , should be found accordingly.

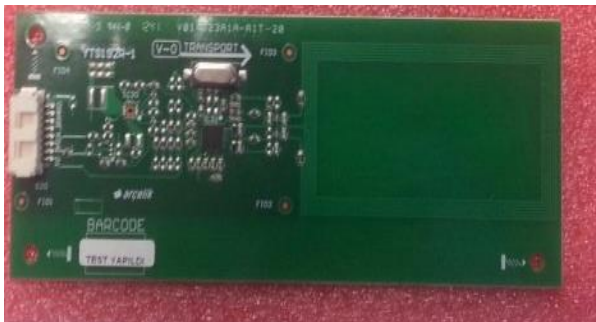


Figure 11. Built prototype with the rectangular antenna

2.7. Measurements in ADS Software

The basic model of the system is shown in Figure 12. On the right side, the antenna components exist. The box contains the necessary data for the simulation and it is possible to change these data or values, which allows us to make simulations with various data and values. Those values are saved through the Network Analyser.

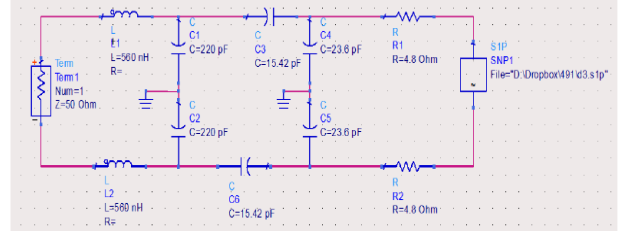


Figure 12. Main schematic of reader design

For our design, inductance (L) and the capacitance (C_1) values which exist on the left side of the model are taken constant; those values are $L=560 \text{ nH}$ and $C_1=220 \text{ pF}$. To make the simulation simpler, the values of capacitances are taken as; $C_1 = C_2$, $C_3 = C_6$ and $C_4 = C_5$. Considering those changes and assumptions, the new model is represented in Figure 13.

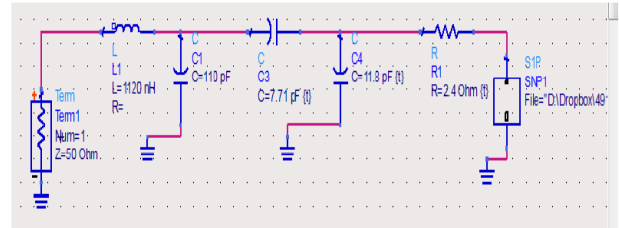


Figure 13. Simplified schematic of reader design.

Determining the optimum values of the matching circuit capacitance is the most vital factor for this schematic. By using the ADS software, these capacitor values are optimized, in order to optimize our antennas.

The Quality factor is also another factor that affects the performance of the antenna. Quality factor of 30 should be obtained after the calculations of these two capacitors.

3. Results

The system design for a TV application can have square, rectangular, and circular loop antennas for the reader. Each of these antenna designs have different return loss, sensitivity, accuracy and read-range. In this section, the comparison results are presented. There can be external and internal effects that can change the operating frequency and the return loss such as proximity of metal and matching circuit capacitor values. Those factors can be used for adjusting the frequency and return loss values.

3.1. Experimental results with proximity of metal and capacitor value effects

3.1.1. Rectangular antenna

Figure 14 shows the ADS impedance measurements of the rectangular antenna.

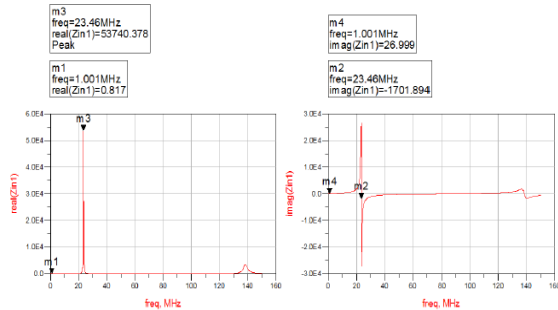


Figure 14. Impedance measurements of the rectangular antenna

Using Equations (1), (2), (3) and (4), the following circuit parameters are calculated;

$$L_a = 4.33 \mu\text{H}, R_s = 0.82, R_p (13,56 \text{ MHz}) = 70.71 \text{ k}\Omega, \text{ and } R_a = 2.72 \Omega.$$

Such antenna operates at 11.87 MHz and the return loss is -17 dB. Using equation (7), the value of the quality factor is;

$$Q = 135 \left(f \times \frac{\text{Hz}}{\Omega} \right)$$

Those values depend on the proximity of a metal. Figure 15 shows the rectangular antenna with a distance of 1 cm from metal. When the metal comes closer, it increases the operating frequency and initially increases the absolute value of the return loss then decreases it as shown in Table 5.

Table 5. Operating frequency values and absolute value of return Loss with respect to metal separation from the reader for the rectangular antenna.

Metal Separation from Reader (cm)	Operating Frequency (MHz)	Absolute Value of Return Loss (dB)
2	12.2	17.91
1	13.34	22.9
0.1	15.23	15.19



Figure 15. Metal effect with distance of 1 cm from the rectangular antenna

Another factor that affects the frequency and the return loss is the matching circuit's capacitor values. Table 6 shows the resonance frequency changes with the matching circuit capacitor values for the rectangular antenna.

Table 6. ADS and measured resonant frequency values with respect to capacitor values.

Example	C ₃ (pF)	C ₄ (pF)	ADS result frequency (MHz)	Measured frequency (MHz)
1	46.00	30.00	15.27	14.33
2	20.00	12.60	15.91	14.61
3	22.00	15.00	15.37	14.30
4	30.00	15.00	14.68	13.52
5	22.00	22.00	14.49	13.40
6	22.00	18.00	14.97	13.89
7	27.00	18.00	14.56	13.42

The main reason for the difference between the frequencies obtained with ADS and the measured ones is that the Q-factors of lumped elements used in ADS simulation are not included in the real measurements. The frequency of 13.56 MHz is the optimum to operate such TV application. Values of C₃ = 30 pF and C₄ = 15 pF are capable of increasing the frequency value up to 13.52 MHz which is close enough to the optimum frequency.

For measurements of the return loss and real and imaginary impedance of the design, an SMA connector is attached to the TX1 and TX2 inputs of the PN531 transmission module. Figure 16 shows the measurement setup.

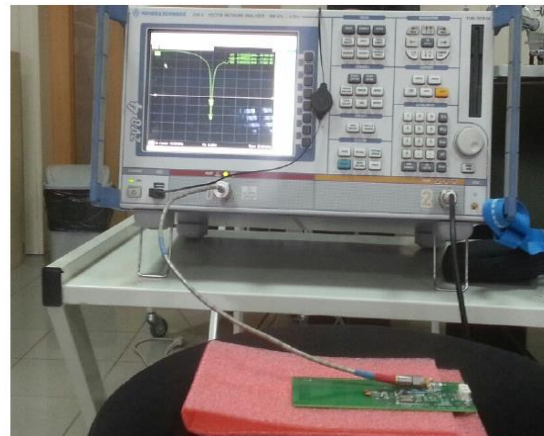


Figure 16. Measurement Setup to determine the return loss of the design

Tuning process is applied on the C1 and C2 values of the matching circuit given in Figure 3 to achieve the intended return loss. The best return loss is achieved when C1 = 33.8 pF and C2 = 15 pF. The measurement results show that the input impedance is obtained as 52.36 while the reactance level of 3.8 is achieved. At the frequency level of 13.56 MHz, the return loss value is obtained as -27 dB.

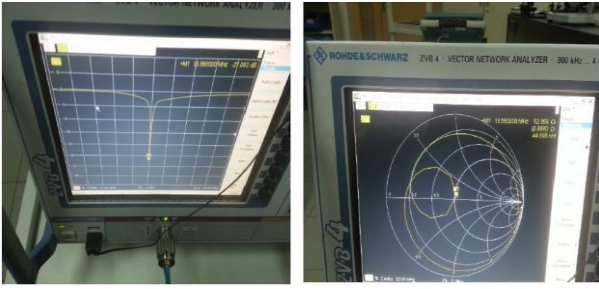


Figure 17. Return loss and Smith Chart measurements with optimized design

3.1.2. 4 Loop square antenna

Figure 18 shows the built prototype of the 4-loop square antenna.



Figure 18. Built Prototype of the 4-loop square antenna

Figure 19 shows the impedance measurements of the 4 loop square antenna.

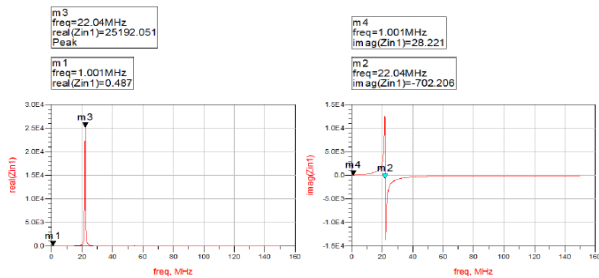


Figure 19. Impedance measurements of the 4 loop square antenna

Using Equations (1), (2), (3) and (4), the following circuit parameters are calculated;

$$L_a = 4.53 \mu\text{H}, R_s = 0.49 \Omega, R_p (13,56 \text{ MHz}) = 32.11 \text{ k}\Omega, \text{ and } R_a = 5.13 \Omega.$$

Such antenna operates at the frequency of 11.5 MHz and the return loss is -19.32 dB. Using Equation (7), the value of the quality factor is;

$$Q = 75 \left(f \times \frac{\text{Hz}}{\Omega} \right)$$

When the metal gets closer to the antenna, it increases both the operating frequency and the absolute value of the return loss, but if the metal is too close, for example 1mm or less, the absolute value of the gain loss begins to decrease as shown in Table 7.

Table 7. Operating frequency values and absolute value of return loss with respect to metal separation from the reader for the 4 loop square antenna.

Metal Separation from Reader(cm)	Operating Frequency (MHz)	Absolute Value of Return Loss (dB)
2	11.73	20.69
1	12.24	25.00
0.1	14.45	23.14

Table 8 shows the resonance frequency changes with the matching circuit capacitor values for the 4 loop square antenna.

Table 8. ADS and Measured resonant frequency values with respect to capacitor values

Example	C ₃ (pF)	C ₄ (pF)	ADS result frequency (MHz)	Measured frequency (MHz)
1	23.00	13.00	14.92	13.21
2	22.00	11.00	15.29	13.50
3	23.00	15.00	14.66	13.00
4	18.00	13.00	15.42	13.63

An increase in any of the capacitor values causes a decrease in the operating frequency. Capacitor values C₃ = C₆ = 22pF and C₄ = C₅= 11pF give the optimum resonant frequency of 13.50 MHz.

For measurement of the return loss, tuning process is applied on the C1 and C2 values of the matching circuit given in Figure 3, to achieve the intended return loss. The best return loss is achieved when C1 = 22 pF and C2 = 11 pF. At the frequency level of 13.56 MHz, the return loss value is obtained as -30 dB. At the frequency of 13.56 MHz, the resonance performance and return loss value that is proper for the design application are achieved.

3.1.3. 6 Loop square antenna

It was not possible to match the 6 loop square antenna since it has a resonant frequency of 13.21 MHz that is lower than the operating frequency of 13.56 MHz. In addition, multiple frequency peaks were noticed for such an antenna. Accordingly, the adjustments and other tests were not necessary for such an antenna. The operating values can be seen in Figure 20.

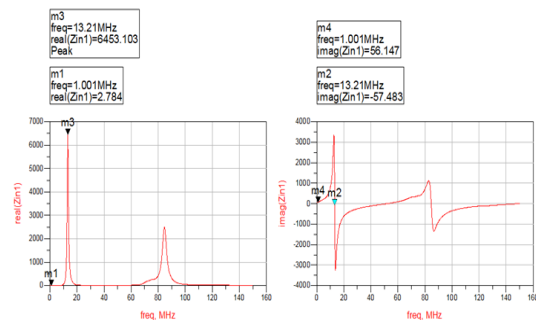


Figure 20. Impedance measurements of the 6 loop square antenna

3.1.4. Circular antenna

Figure 21 shows the built prototype of the 4-loop square antenna.



Figure 21. Built Prototype of the circular antenna

As Figure 22 shows, this type of antenna operates with a frequency which is much higher than the optimum frequency (13.56 MHz) for the desired application, so the adjustments and other tests are not necessary for such antenna.

$$Q = 330\left(f \times \frac{\text{Hz}}{\Omega}\right)$$

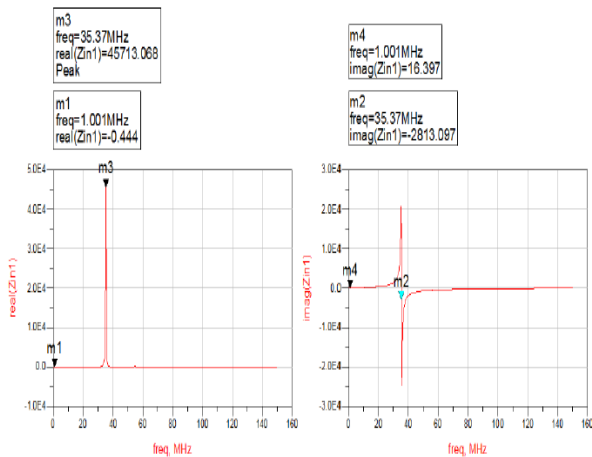


Figure 22. Impedance measurements of the circular antenna

3.2. Measurements for read range

For measuring the read distance, a special software is installed on a TV system which does not allow the usage of any menus in the TV without the reader circuit reading the signal coming from the passive tag. A notification saying "READ RFID CARD" appears on the screen when the TV is turned on. After the card is read, a notification saying "RFID CARD IS READ" shows up on the screen and the system allows the user to use menus on the TV. If the desired communication is not obtained, a notification saying "RFID CARD ISN'T READ" shows up on the screen and the system does not allow the user to use the menus until the reader can read the signal coming from the tag successfully. Figure 23 shows the measurement setup for measuring the read range.



Figure 23. Measurement setup for range measurement Optimum reading was obtained with a distance of 4.5 cm using the rectangular antenna and 5 cm using the 4-loop square antenna. The 4-loop square antenna gave the highest read range with optimum gain performance when compared with other antenna geometries.

3.3. Smart card effect

When passive smart cards are located close to the antenna of the reader, as a result of the capacitive effect, there is a decrease in the performance of the reader antenna. Therefore, the loop antenna's resonant frequency also decreases and the field intensity is reduced at the operation frequency of 13.56 MHz. To achieve the optimum performance for such a system which will operate a TV application, locating the smart card in a fixed position with a distance of 3 cm from the reader antenna and to obtain the resonance frequency of 13.56 MHz, matching elements should be detuned.

Best results for the rectangular antenna are experienced with those values;

$$C_1 = 18 \text{ pF}, C_2 = 53.8 \text{ pF}.$$

Figure 24 shows the measurement setup based on measuring the card effect



Figure 24. Measurement setup for measuring smart card effect

At the frequency level of 13.56 MHz, the return loss value is seen as -17 dB. The maximum read range of 3.6 cm achieved, which is a smaller value than the previous measurements. The reason for that is that the measurements for the last calculations were done by using detuned values of components. For calculating the system accuracy, an experiment is

performed 100 times, where a passive card is read in the x, y, and z coordinates from a distance of 3 cm and no misreading is experienced

4. Discussion and Conclusion

Considering the read range and gain performance of the antennas, the 4 loop square antenna type enables higher absolute value of the return loss and higher read range with given capacitor values, which gives us the best antenna geometry for the intended RFID design. The read range also increases as the size and number of turns increase in the antenna. When the distance of the read range increases, the accuracy gets lower. For an RFID technology operating a TV application, the accuracy is more important than the read range. To keep the system at low cost and accurate, the final design for the reader is able to initiate communication with a distance of up to 5 cm. On the other hand, bigger sizes and higher number of turns increase the cost as well. Therefore, circular and rectangular antennas have better cost performance than the 4 loop and 6 loop square antennas. In terms of the performance of the matching impedance which should be 50 ohms, with the lowest imaginary part, the 4 loop square antenna performs well. When observing frequency band performance, all have operating frequency of 13.56 MHz except the 6 loop square antenna as well as the circular antenna. It is not possible to match the 6 loop square antenna since it has a resonant frequency of 13.21 MHz that is lower than the operating frequency of 13.56 MHz. In addition, multiple frequency peaks were shown for such an antenna. The main reasons for this are the high inductance and capacitance values of the 6 loop square antenna. The circular antenna also operates with a frequency which is much higher than the optimum frequency for the desired application, so the adjustments and other tests were not necessary for such antenna.

Metal has a vital effect on the operating frequency. It shifts the operating frequency to higher values. On the other hand, metal has also an effect on the return loss, but it is not a linear effect. Metal increases both the operating frequency and the absolute value of the return loss, but when it is too close like 1 mm, the absolute value of the gain loss begins to decrease.

Passive smart cards placed in proximity to the antenna of the reader affect the reader antenna performance due to the capacitive effect. Resonant frequency of the loop antenna is shifted downwards and the circuit needs detuning. At the frequency level of 13.56 MHz, the return loss value is seen as -17 dB. The maximum read range of 3.6 cm is achieved. For calculating the system accuracy and reliability, an experiment is repeated 100 times, where the passive smart card is read in x, y, and z coordinates from a distance of 3 cm and no misreading is experienced.

In conclusion, a 13.56 MHz HF RFID reader has been designed to allow users secure access into their personal menus in TVs. Even though there are lots of literature studies and publications about assessing RFID systems' operational performance, EMC, and RF considerations with metal and liquid effects, there are only few articles observing RFID systems' performance with comparison of different size and geometry antennas by setting forth the best antenna geometry with metal and smart card effects. Four types of antennas, 4 loop square, 6 loop square, rectangular, and circular, have been simulated and measured. In order to get the desired operating frequency, the capacitor values in the matching circuit have been changed accordingly. Different types of antennas showed different resonant frequencies and return losses. Considering the read range and gain performance of the antennas, the 4 loop square antenna type enables higher absolute value of the return loss and higher read range with given capacitor values, which gives us the best antenna geometry for the intended RFID design. Such design is in the limits of the regulation while having the most efficient operational excellence.

References

- [1] Finkenzeller, K. 2010. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication. John Wiley, Los Angeles, USA.
- [2] Mayordomo, I., Berenguer, R., Garcia-Alonso, A., Fernandez, I., Gutierrez, Í. 2009. Design and Implementation of a Long-Range RFID Reader for Passive Transponders. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 57(5), 1283-1290.
- [3] Weis, S. A. 2007. RFID (Radio Frequency Identification): Principles and Applications. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.182.5224&rep=rep1&type=pdf> (Accessed Date: 09.10.2020).
- [4] Liu, W., Wong, M. M. 2010. 3D RFID Simulation and Design - Factory Automation, 54 InTech, 2010.
- [5] Gossar, M., Stark, M., Gebhart, M., Pribyl, W., Söser, P. 2011. Investigations to Achieve Very High Data Rates for Proximity Coupling Devices at 13.56 MHz and NFC Applications. 2011 3rd International Workshop on Near Field Communication (NFC), Hagenberg, 71-76.
- [6] Novotny, D. R., Guerrieri, J. R., Francis, M., Remley, K. 2008. HF RFID electromagnetic emissions and performance. 2008 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 17-22 Aug, Detroit, MI, 1-7.

- [7] Leong, K. S., Ng, M. L., Cole, P. H. 2006. Operational Considerations in Simulation and Deployment of RFID Systems. 17th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, Singapore, 521-524.
- [8] Pous, M. Azpúrua, M. A., Silva, F. 2015. Radiated transient interferences measurement procedure to evaluate digital communication systems. 2015 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 16-22 Aug., Dresden, 456-461.
- [9] Gossar, M., Witschnig, H., Enzinger, H. 2010. Parameter analysis and reader architectures for broadband 13.56 MHz RFID systems. 2010 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Anaheim, CA, 1524-1527.
- [10] Mo, L., Zhang, H. 2007. RFID Antenna Near the Surface of Metal. 2007 International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, Hangzhou, 803-806.
- [11] Zhou, Y., Zhong, Z., Hong, Y. 2007. An Effective Fast Matching Oriented Slot Antenna Designing Method with RFID Tag Chip. 2007 International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, Hangzhou, 575-578.
- [12] Coca, E., Popa, V. 2007. Experimental results and EMC considerations on RFID location systems. 2007 1st Annual RFID Eurasia, Istanbul, 1-5.
- [13] Manzi, G., Feliziani, M. 2008. Impact of UHF RFID IC impedance on the RFID system performances in presence of dielectric materials. 2008 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC Europe, 8-12 Sept., Hamburg, 1-6.
- [14] Jamali, B., Bates, B. D. 2009. EMC considerations in deployment of RFID systems. 2009 Electromagnetic Compatibility Symposium Adelaide, 16 Aug.-18 Sept., Adelaide, SA, 8 - 12.
- [15] Mittra, R., Stupf, M., Mosig, J. R., Yeo, J. 2006. Some novel designs for RFID tags and their performance enhancement with metamaterials. First European Conference on Antennas and Propagation, Nice, 1-4.
- [16] Benelli, G., Parrino, S., Pozzebon, A. 2009. Possible configurations and geometries of long range HF RFID antenna gates. 2009 6th International Symposium on Wireless Communication Systems, Tuscany, Italy, 46-50.
- [17] Wang, H., Wang, G., Shu, Y. 2007. Design of RFID Reader Using Multi-Antenna with Difference Spatial Location. 2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Shanghai, 2070-2073.
- [18] Rao, K. V. S., Nikitin, P. V., Lam, S. F. 2005. Antenna design for UHF RFID tags: a review and a practical application. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 53 (12), 3870-3876.
- [19] Philips Semiconductor, 2004. Near Field Communication PN531- μ C based Transmission module. <http://static6.arrow.com/aropdfconversion/437fdc895b365886a22c68cefea1d05960ed8856/100020.pdf> (Accessed Date: 09.10.2020).
- [20] NXP AN1445. 2010. Antenna Design Guide for MFRC52x, PN51x and PN53xs. <https://my.eng.utah.edu/~mlewis/ref/NFC/AN1445.pdf> (Accessed Date: 09.10.2020).
- [21] Ibrahim, N. A., Ahmed, H. M., El-Tager, A. M. 2012. Design of a transceiver RF front-end for 2.45 GHz RFID readers. The 2nd Middle East Conference on Antennas and Propagation (MECAP), Cairo, 1-5.
- [22] Microchip. 2004. MicroID 13.56 MHz RFID System Design Guide. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21299E.pdf>, 2004 (Accessed Date: 09.10.2020).
- [23] NXP AN142522. 2011. AN142522 RF Amplifier for NXP Contactless NFC Reader ICs. <https://manualzz.com/doc/9384171/an142522-rf-amplifier-for-nxp-contactless-nfc-reader-ic-s> (Accessed Date: 09.10.2020).
- [24] Gebhart, M., Birnstingl, S., Bruckbauer, J., Merlin, E. 2008. Properties of a Test Bench to Verify Standard Compliance of Proximity Transponders. 6th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, Graz, 306-310.
- [25] Schober, A., Ciacci, M., Gebhart, M. 2013. An NFC Air Interface Coupling Model for Contactless System Performance Estimation. Proceedings of the 12th International Conference on Telecommunications, Zagreb, 243-250.

İnsan Vücudunda Biyo-malzeme Olarak Kullanılan Titanyum-Zirkonyum Alaşımlarının 30° Alt Çene Hareketli Çiğneme Test Deneylerinde Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

Efe Çetin YILMAZ*¹

¹Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 79000, Kilis, Türkiye

(Alınış / Received: 04.02.2020, Kabul / Accepted: 09.09.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Biyo-malzeme,
Titanyum,
Aşınma,
Hacim Kaybı

Özet: Bu çalışmanın amacı insan vücudunda biyomalzeme olarak tercih edilen saf titanyum (cp-Ti), Ti-5Zr ve Ti-10Zr alaşımlarının laboratuvar ortamında 30° alt çene hareketli çiğneme test deneylerinde aşınma davranışlarının incelenmesidir. Aşınma testi öncesinde test numunelerinin yüzey sertlik değerleri belirlenmiştir. Daha sonra test numuneleri bilgisayar kontrollü çiğneme test cihazı kullanılarak 120 000 aşınma döngü (70 N aşınma kuvveti, 30° açı ile 0,7 mm alt çene hareketi, 1,8 Hz aşınma frekansı 3000 termal döngü ve 6 mm çapında seramik aşındırıcı malzeme) test deneylerine maruz bırakılmıştır. Test numunelerini mikro yapı analizleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca, aşınma testi prosedürü sonrasında test numunelerinin aşınma bölgesinde meydana gelene hacim kayıpları 3 boyutlu profilometre kullanılarak ölçülmüştür. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler ile titanyum içerisinde zirkonyum elementinin oranının artması ile alaşımın sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca zirkonyum elementinin alaşımın aşınma direncini artırdığı gözlemlenmiştir.

Investigation of Wear Behavior of Titanium-Zirconium Alloys Used as Biomaterials in Human Body in 30° Lower Jaw Motion Chewing Simulation Test Experiment

Keywords

Bio-materials,
Titanium,
Wear,
Volume Loss

Abstract: The aim of this study is to investigate the wear behavior of pure titanium (cp-Ti), Ti-5Zr and Ti-10Zr alloys which are preferred as biomaterials in human body in 30° lower jaw movement chewing test experiments. The surface hardness values of the test specimens were determined before the wear test. Then, the test specimens were subjected to 120 000 wear cycles (70 N wear force, 0.7 mm lower jaw movement, 1.8 Hz wear frequency 3000 thermal cycles and 6 mm diameter ceramic abrasive antagonist material) using a computer-controlled chewing simulation device. Microstructure analyzes of the test samples were performed with scanning electron microscopy (SEM). In addition, wear volume loss of test specimen abrasion area obtained using non-contact 3D profilometer. As a result of this study, it was observed that the hardness value of the alloy increased with increasing ratio of zirconium element in titanium. It has also been observed that the alloy of the element zirconium increases the wear resistance.

1. Giriş

Ağız içi tribolojik süreç çok karmaşık ve sürekli bir yapıya sahiptir. Bu yapı içerisine yerleştirilen biyo-malzemelerin zaman içindeki mekanik ve estetik davranışlarını belirlemek önem arz etmektedir. Çünkü ağız içerisine yerleştirilmiş bir biyo-malzemelerin zaman periyodundaki mekanik ve estetik davranışlarını doğru tahmin edebilmek tatminkar bir tedavi sürecinin oluşmasına büyük katkı sağlayacaktır. Biyo-malzemelerin mekanik ve estetik davranışlarını tahmin edebilmek için

literatürde birçok in vivo ve in vitro test yöntemi geliştirilmiştir. [1-6]. Bununla birlikte, araştırmacılar, in vivo çalışmaların uzun zaman almasından, maliyetlerin yüksek olmasından ve etik nedenlerden dolayı in vitro test yöntemlerine doğru bir çalışma eğilimine girmişlerdir. İnsan ağız içi tribolojik sürecin karmaşık ve sürekli yapısının in vitro test parametrelerinde modellenmesi önemlidir. Örneğin çiğneme hareketi sırasında meydana gelen ısırma kuvveti sürekli değişken ve sürekli bir parametredir. Literatürde in vitro laboratuvar ortamında direkt temas (two-body) ve aşındırıcı

*İlgili yazar: efeyilmaz@kilis.edu.tr

ortam (three-body) aşınma test mekanizmalarını çeşitli biyo-malzemeler üzerinde gerçekleştiren birçok çalışma bulunmaktadır [7-10]. Ayrıca, intra-oral tribolojik süreç göz önüne alındığında, çiğneme testleri sırasında direkt temas aşınmasında termal değişim döngüsünün oluşmasının kaçınılmaz bir durum olduğu görülecektir. Ancak literatürde bazı çalışmalar intra-oral tribolojik süreç içerisinde termal döngü değişim sürecini aşınma mekanizmaları üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir [4,11]. Bu nedenle, bu çalışmada laboratuvar ortam şartlarında gerçekleştirilen çiğneme test deneylerinde 3000 termal döngü parametresi aşınma test mekanizmasına dahil edilmiştir.

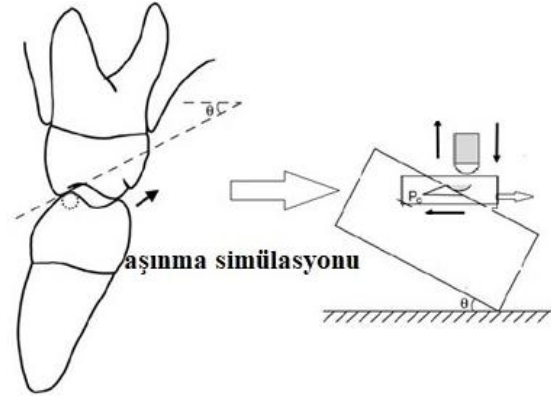
Literatürde kompozit restoratif malzemesinin aşınma direnci ile mikro sertliği arasında bir ilişki olduğu bildirilmiştir [12,13]. Bu çalışmada da test edilen saf titanyum ve titanyum alaşımlarının direkt-temas aşınma direnci ile mikro sertliği arasında lineer bir ilişki bulunmuştur. Literatürdeki farklı bir çalışmada ise titanyum ve titanyum alaşımlarının sertliği ve aşınma direnci arasında lineer bir ilişki olmadığını bildirmiştir [4]. Diğer bir literatür çalışmasında, Ti-10Zr ve Ti-40Zr aralığı alaşımları arasındaki sertlik değerleri incelenmiş, alaşımdaki Zr oranının artırılmasıyla sertlik değerinin arttırıldığı sonucuna varılmıştır [14]. Bu çalışmada, Ti-10Zr ve Ti-5Zr alaşım malzemelerinin yüzey sertliği, saf titanyum malzemesine göre önemli oranda yüksek elde edilmiştir. Bu sonucun oluşmasında martensite mikro yapı ve katı çözelti sertleşmesinin Ti-10Zr ve Ti-5Zr titanyum alaşımlarının yüzey sertliğinin artmasına katkıda bulunduğunu söylemek mümkündür.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada test edilen saf titanyum ve titanyum alaşımlarından (cp-Ti, Ti-5Zr ve Ti-10Zr) 12 mm çapında 2 mm genişliğinde standart test numuneleri hazırlanmıştır. Test numunelerinin aşınma yüzeylerinde minimum pürüzlülük elde etmek amacıyla numuneler sırasıyla 200, 320, 500 ve 1200 silisyum-karbon (SiC) zımparalar kullanılarak parlatma (polishing) işlemi gerçekleştirilmiştir. Test numunelerinin yüzey sertlik değerleri aşınma testi öncesinde "Vicker Hardness" yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntemde piramit geometrisinde bir kalıp kullanılarak 30 saniye boyunca yaklaşık 19,355 N yük numune yüzeyine uygulanmıştır. Bu yöntem de bilinir ki ölçümün derinliği numunenin sertliğini gösterir. İnsan çiğneme hareketini simüle edebilmek amacıyla bilgisayar kontrollü 30° alt çene hareketli aşınma test mekanizması tasarlandı ve üretildi. Şekil 1, 30° alt çene hareketli aşınma test mekanizmasının sistematik çalışmasını özetlemektedir.

Saf titanyum ve titanyum alaşımları laboratuvar (in vitro) şartlar altında yapay tükürük çözeltisi içerisinde 120 000 aşınma döngü (70 N aşınma

kuvveti, 30° açılı ile 0,7 mm alt çene hareketi, 1,8 Hz aşınma frekansı 3000 termal döngü) test deneylerine maruz bırakılmıştır. Her aşınma test prosedüründe 6 mm çapında seramik aşındırıcı bilye kullanılmıştır. Yapay tükürük çözeltisinin kimyasal bileşenleri tablo 1 de gösterilmiştir [15].



Şekil 1. 30° alt çene hareketli aşınma test mekanizmasının sistematik gösterimi.

Tablo 1. Yapay tükürük çözeltisinin kimyasal bileşenlerinin gösterimi

Bileşen	Miktar (g/l)
NaCl	0,4
KCl	0,4
CaCl ₂ .2H ₂ O	0,795
Na ₂ S.9H ₂ O	0,005
NaH ₂ PO ₄ .2H ₂ O	0,69
Urea	1

Test numunelerinin mikro yapı analizleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yapılmıştır. Test numunelerinin aşınma hacmi derinliği, temassız profilometre Bruker-Contour GT 3D Vision64 simülasyon yazılımı kullanılarak, x ekseninde 8 µm, y ekseninde 12 µm ve aşınma yüzeyinde 1000 µm s-1 ölçüm hızı taraması ile belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada test edilen saf titanyum ve titanyum alaşımlarının yüzey sertlik değerleri ve aşınma testi sonrasında meydana gelen ortalama hacim kaybı Tablo 2'de gösterilmiştir. Titanyum alaşımına zirkonyum elementinin eklenmesi ile sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Literatürde de Ti-5Zr alaşımının saf titanyuma göre daha sert bir mikro-yapı gösterdiği rapor edilmiştir [4]. Test numunelerinin aşınma test prosedürü sonrasındaki hacim kaybı değerlerine bakıldığında titanyum alaşımına zirkonyum elementinin eklenmesi ile daha iyi aşınma direncine sahip alaşım malzemesinin olduğu görülmüştür. Ayrıca zirkonyum elementinin oranının artması ile alaşımın aşınma direncinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 2, bu çalışma kapsamında test edilen malzemelerin yüzey sertlik ve ortalama aşınma hacim kaybını göstermektedir.

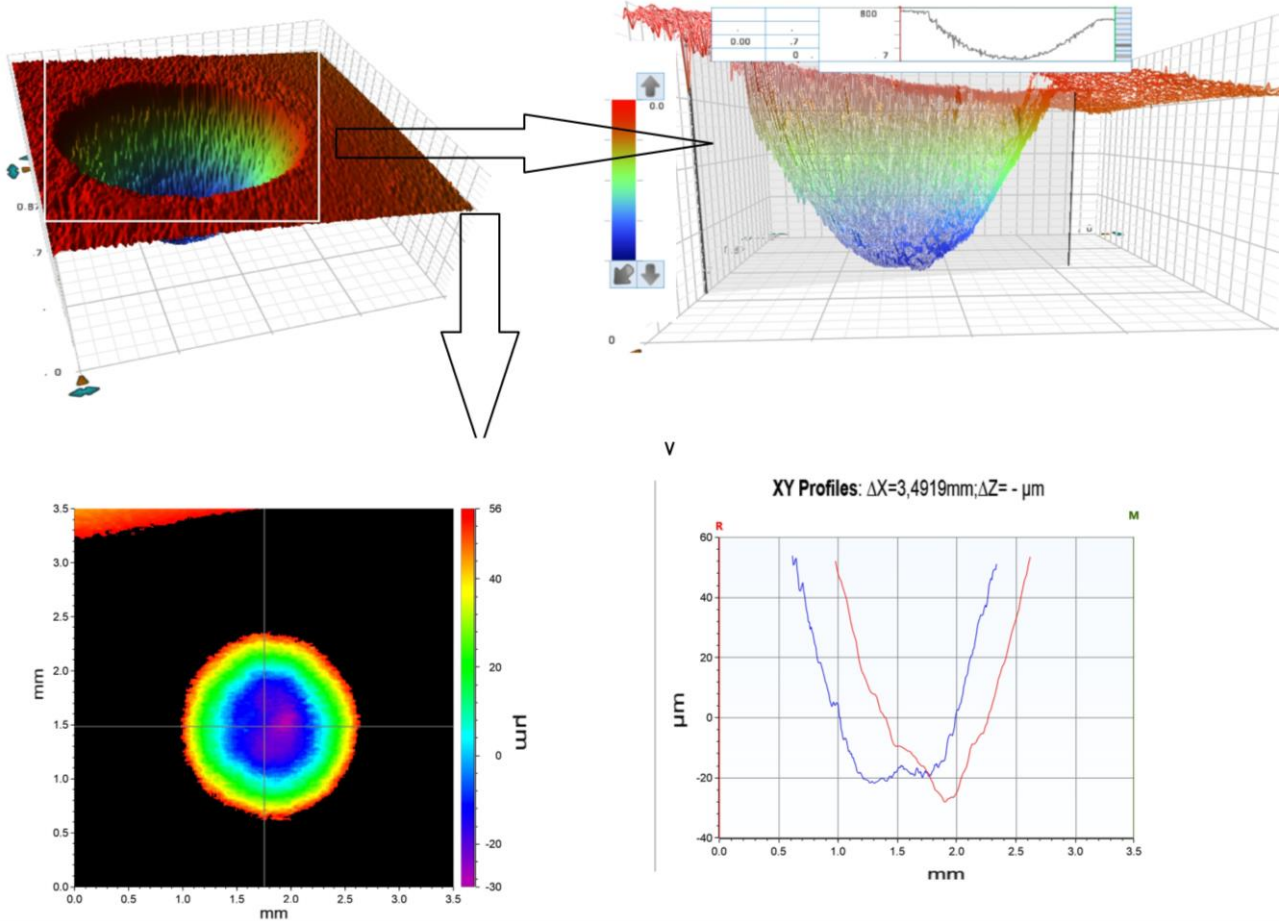
İnsan vücudunda kullanılan biyo-malzemelerin in vitro şartlar altındaki aşınma analizi, temaslı veya

temassız profilometre cihazı, dijital mikroskop, optik sensör ve lazer taraması gibi birçok farklı yöntemle değerlendirilebilir. Bu yöntemlerin birbirleri üzerinde avantajları ve dezavantajları olabilmektedir. Literatürdeki bir çalışmada profilometre, optik sensör ve lazer tarama gibi farklı yöntemler kullanarak biyo-malzemenin hacim kaybı ve aşınma derinlik değişkenleri değerlendirmiştir [16]. Sonuç olarak, hem aşınma derinliği hem de yanal eksenlerdeki yüzey aşınma alanının hacim kaybının birbirleriyle önemli ölçüde ilişkili olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada, 3D temassız profilometre cihazı kullanılarak aşınma analizleri yapılmış, aşınma derinliği ve yanal eksenlerdeki aşınma alanı birbiriyle ilişkilendirilmiştir. Deney numunelerinin aşınma test prosedürlerinden sonra yüzeyinden elde edilen 3 boyutlu ve 2 boyutlu derinlik ve yüzey analiz örneği Şekil 2'de gösterilmiştir. Aşınma hacim kaybı her iki ekseninde test numunelerinin, (x ekseninde 8 μm , y ekseninde 12 μm ve aşınma yüzeyinde 1000 $\mu\text{m s}^{-1}$) ölçüm hızı taraması ile belirlenmiştir. Bu hesaplama yöntemi kullanılarak elde edilen verilen hassasiyeti artırılmıştır.

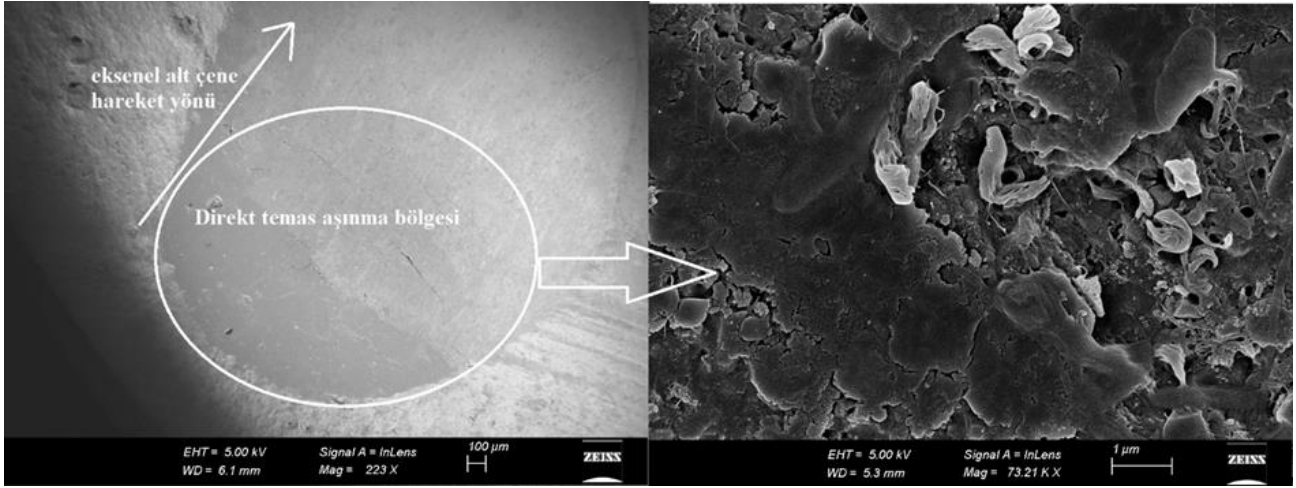
Tablo 2. Test edilen malzemelerin yüzey sertlik ve ortalama aşınma hacim kaybının gösterimi

Malzeme	Sertlik (HV)	Ortalama Hacim Kaybı (mm^3)
Cp-Ti	230	0,24 (0,07)
Ti-5Zr	302	0,18 (0,05)
Ti-10Zr	365	0,15 (0,06)

İnsan ağız içerisine yerleştirile saf titanyum ve titanyum alaşımların meydana gelen aşınma mekanizmalarının laboratuvar şartları çiğneme testleri altında esas olarak iki aşamada gerçekleştiğini söylemek mümkündür. Birinci aşamada, biyo-malzeme üzerinde ısırma kuvveti meydana geldiğinde elastik ve plastik davranışlar sergileyecektir. İkinci aşamada, aşınma yüzeyinde çiğneme hareketi ile aşınma izleri oluşacaktır. Bu nedenle, biyo-malzemenin aşınma alanını hem aşınma derinliği hem de yanal eksenler için analiz etmek önemlidir. Şekil 3, saf titanyum biyo-malzemesinin üzerinde etki eden dikey ve yatay eksenel yüklemenin oluşturduğu mikro-yapı örneğini göstermektedir.



Şekil 2. Deney numunelerinin aşınma test prosedürlerinden sonra yüzeyinden elde edilen 3 boyutlu ve 2 boyutlu derinlik ve yüzey analiz örneğinin gösterimi.



Şekil 3. Saf titanyum biyo-malzemesinin üzerinde etki eden dikey ve yatay eksenel yüklemenin oluşturduğu mikro-yapı örneğinin gösterimi.

Ağız içi tribolojik süreç çok karmaşık ve sürekli bir yapıya sahiptir. Bu yapı içerisine yerleştirilen biyo-malzemelerin zaman içindeki mekanik ve estetik davranışlarını belirlemek önem arz etmektedir. Çünkü ağız içerisine yerleştirilmiş bir biyo-malzemelerin zaman periyodundaki mekanik ve estetik davranışlarını doğru tahmin edebilmek tatminkar bir tedavi sürecinin oluşmasına büyük katkı sağlayacaktır. Biyo-malzemelerin mekanik ve estetik davranışlarını tahmin edebilmek için literatürde birçok in vivo ve in vitro test yöntemi geliştirilmiştir. [1-6]. Bununla birlikte, araştırmacılar, in vivo çalışmaların uzun zaman almasından, maliyetlerin yüksek olmasından ve etik nedenlerden dolayı in vitro test yöntemlerine doğru bir çalışma eğilimine girmişlerdir. İnsan ağız içi tribolojik sürecin karmaşık ve sürekli yapısının in vitro test parametrelerinde modellenmesi önemlidir. Örneğin çiğneme hareketi sırasında meydana gelen ısırma kuvveti sürekli değişken ve sürekli bir parametredir. Literatürde in vitro laboratuvar ortamında direkt temas (two-body) ve aşındırıcı ortam (three-body) aşınma test mekanizmalarını çeşitli biyo-malzemeler üzerinde gerçekleştiren birçok çalışma bulunmaktadır [7-10]. Ayrıca, intra-oral tribolojik süreç göz önüne alındığında, çiğneme testleri sırasında direkt temas aşınmasında termal değişim döngüsünün oluşmasının kaçınılmaz bir durum olduğu görülecektir. Ancak literatürde bazı çalışmalar intra-oral tribolojik süreç içerisinde termal döngü değişim sürecini aşınma mekanizmaları üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir [4,11]. Bu nedenle, bu çalışmada laboratuvar ortam şartlarında gerçekleştirilen çiğneme test deneylerinde 3000 termal döngü parametresi aşınma test mekanizmasına dahil edilmiştir.

Literatürde kompozit restoratif malzemesinin aşınma direnci ile mikro sertliği arasında bir ilişki olduğu bildirilmiştir [12,13]. Bu çalışmada da test edilen saf titanyum ve titanyum alaşımlarının direkt-temas aşınma direnci ile mikro sertliği arasında lineer bir ilişki bulunmuştur. Literatürdeki farklı bir çalışmada

ise titanyum ve titanyum alaşımlarının sertliği ve aşınma direnci arasında lineer bir ilişki olmadığını bildirmiştir [4]. Diğer bir literatür çalışmasında, Ti-10Zr ve Ti-40Zr aralığı alaşımları arasındaki sertlik değerleri incelenmiş, alaşımdaki Zr oranının artırılmasıyla sertlik değerinin artırıldığı sonucuna varılmıştır [14]. Bu çalışmada, Ti-10Zr ve Ti-5Zr alaşım malzemelerinin yüzey sertliği, saf titanyum malzemesine göre önemli oranda yüksek elde edilmiştir. Bu sonucun oluşmasında martensite mikro yapı ve katı çözültü sertleşmesinin Ti-10Zr ve Ti-5Zr titanyum alaşımlarının yüzey sertliğinin artmasına katkıda bulunduğunu söylemek mümkündür.

4. Sonuç

Bu çalışmada in vitro(laboratuvar) ortamda elde edilen test sonuçlarına göre, titanyum alaşımları, aşınma test prosedürü sonrasında saf titanyuma göre daha iyi direkt-temas (two-body) aşınma direnci göstermiştir. Ayrıca saf titanyum içerisine eklenen zirkonyum elementi alaşımın yüzey sertliğini artırıcı bir etki oluşturmuştur. Ti-5Zr ve Ti-10Zr alaşımlarının saf titanyuma göre ağız içerisine biyo-malzeme olarak yerleştirildiğinde daha iyi mekanik davranışlar gösterebileceği laboratuvar test deney verileri ile tahmin edilmiştir. Daha sonraki çalışmalarda titanyum alaşımlarının aşındırıcı ortam (three-body) aşınma ve korozif ortam (corrosive wear) test deneylerinin de gerçekleştirilmesi canlı doku üzerindeki biyo-malzemelerin mekanik davranışı üzerindeki etkilerinin belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında elde edilen laboratuvar (in vitro) test verileri ile canlı doku üzerinde daha tatminkar bir tedavi sürecinin oluşturulmasında katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

Kaynakça

- [1] Santos, R.L.P., Buciumeanu, M., Silva, F.S., Souza, J.C.M., Nascimento, R.M., Motta, F.V., Henriques, B. 2016. Tribological behavior of zirconia-

- reinforced glass-ceramic composites in artificial saliva. *Tribology International*, 103, 379-387.
- [2] Yılmaz, E.C., Sadeler, R. 2018. Investigation of Two- and Three-Body Wear Resistance on Flowable Bulk-Fill and Resin-Based Composites. *Mechanics of Composite Materials*, 54, 395-402.
- [3] Lawson, N.C., Cakir, D., Beck, P., Litaker, M.S., Burgess, JO. 2012. Characterization of third-body media particles and their effect on in vitro composite wear. *Dental Materials*, 28, 118-126.
- [4] Faria, A.C.L., Rodrigues, R.C.S., Claro, A.P.R.A., Mattos de, M.D.C., Ribeiro, RF. 2011. Wear resistance of experimental titanium alloys for dental applications. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 4, 1873-1879.
- [5] Yılmaz, E.Ç. 2019. Effect of Sliding Movement Mechanism on Contact Wear Behavior of Composite Materials in Simulation of Oral Environment. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 5, 63-72.
- [6] Injeti, V.S.Y., Nune, K.C., Reyes, E., Yue, G., Li, SJ., Misra, RDK. 2019. A comparative study on the tribological behavior of Ti-6Al-4V and Ti-24Nb-4Zr-8Sn alloys in simulated body fluid. *Materials Technology*, 34, 1-15.
- [7] Yılmaz, E.C., Sadeler, R. 2018. Investigation of three-body wear of dental materials under different chewing cycles. *Science and Engineering of Composite Materials*, 25, 781-787.
- [8] Ghazal, M., Yang, B., Ludwig, K., Kern, M. 2008. Two-body wear of resin and ceramic denture teeth in comparison to human enamel. *Dental Materials*, 24, 502-507.
- [9] Hahnel, S., Schultz, S., Trempler, C., Ach, B., Handel, G., Rosentritt, M. 2011. Two-body wear of dental restorative materials. *J. Mech. Behav. Biomed Mater*, 4, 237-244.
- [10] Souza, J.C.M., Bentes, A.C., Reis, K., Gavinha, S., Buciumeanu, M., Henriques, B., Silva, FS., Comes, JR. 2016. Abrasive and sliding wear of resin composites for dental restorations. *Tribology International*, 102, 154-160.
- [11] Tkachenko, S., Datskevich, O., Kulak, L., Jacobson, S., Engqvist, H., Persson, C. 2014. Wear and friction properties of experimental Ti-Si-Zr alloys for biomedical applications. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 39, 61-72.
- [12] Abe, Y., Sato, Y., Taji, T., Akagawa, Y., Lambrechts, P., Vanherle, G. 2001. An in vitro wear study of posterior denture tooth materials on human enamel. *Journal of Oral Rehabilitation*, 28, 407-412.
- [13] Zeng, J.Y., Sato, Y., Ohkubo, C., Hosoi, T. 2005. In vitro wear resistance of three types of composite resin denture teeth. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 94, 453-457.
- [14] Ho, W.F., Chen, W.K., Wu, S.C., Hsu, H.C. 2008. Structure, mechanical properties, and grindability of dental Ti-Zr alloys. *Journal of Materials Science-Materials in Medicine*, 19, 3179-3186.
- [15] Sutiman, D.M., Mareci, D., Nechita, TM., Iordache, I., Rosca, JCM. 2007. The electrochemical behaviour of some un-noble alloys in fusayama artificial saliva. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 26, 57-63.
- [16] Heintze, S.D. 2006. How to qualify and validate wear simulation devices and methods. *Dental Materials*, 22, 712-734.

Geleneksel Diyarbakır Örgü Peynirinin Tekstürel Özellikleri ve Mikrobiyal Florasının Depolama Periyodu Boyunca Değişimi

Abdulkerim HATİPOĞLU¹, Şerafettin ÇELİK²

¹Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, 47000, Mardin, Türkiye

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 63050, Şanlıurfa, Türkiye

(Alınış / Received: 07.03.2020, Kabul / Accepted: 24.10.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Diyarbakır Örgü peyniri,
Tekstürel özellikler,
Mikrobiyal flora,
Pasta-filata peynirler

Özet: Bu çalışmada, Karacadağ havzasında Diyarbakır Örgü peynirinin üretildiği küçük ölçekli 8 adet süt işletmesinden 2013 yılında alınan toplam 32 adet peynir örneği, 6±1 °C'de 120 gün süreyle depolanmıştır. Depolama periyodu boyunca 30 gün aralıkla peynirin tekstürel özellikleri ile mikrobiyal florasının değişimi araştırılmıştır. Depolama periyodu boyunca Diyarbakır Örgü peynirinde sertlik (N), yapışkanlık (N.s), elastikiyet (cm), bağlayıcılık, sakızimsılık (N) ve çiğnenebilirlik (mJ) değerlerinde önemli düzeyde azalma tespit edilmiştir (P<0.01). Başka bir ifadeyle, taze peynir sert ve elastik olmasına rağmen, olgun peynirin ise yumuşadığı, elastikiyetinin azaldığı, yapışkan ve daha kolay çiğnenebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Mikrobiyolojik veriler bağlamında, taze peynirin tüketici sağlığı açısından ciddi enfeksiyonel risk oluşturduğu, ancak gıda güvenliği ve tüketici sağlığı açısından depolama periyodunun 60. gününde riskin minimize olduğu ve tüketime sunulabileceği sonucuna varılmıştır.

Evaluation of the Textural Properties and Microbial Flora of Traditional Diyarbakır Örgü Cheese During the Ripening Period

Keywords

Diyarbakır Örgü cheese,
Textural properties,
Microbial flora,
Pasta-filata cheeses

Abstract: In this study, a total of 32 cheese samples taken in 2013 from 8 small-scale dairy farms where Diyarbakır Örgü cheese was produced in the Karacadağ region were stored at 6±1 °C for 120 days. During the storage period, the changes in textural properties and microbial flora of the cheese were investigated. A significant decrease in the hardness (N), adhesiveness (Ns), springiness (cm), cohesiveness, gumminess (N) and chewiness (mJ) values of the cheese were determined along during the storage period. In other words, although fresh cheese is hard and elastic, it is concluded that mature cheese is softened, its elasticity decreases, it is sticky and easily chewable. In the context of unwanted contaminants, it was concluded that fresh cheese poses a serious infectious risk for consumer health, but the risk is minimized and can be offered for consumption on the 60th day of the storage period with regard to food safety and can be consumer health.

1. Giriş

Dünyada üretim yöntemi, bileşim ve görünüşü bakımından farklılık arz eden 1000' den fazla peynir çeşidinin olduğu bildirilmektedir [1]. Bu peynir çeşitlerinden pasta-filata tipi peynirler, fermente teleminin sıcak suda haşlanması ve yoğrulması sonucu elde edilmektedirler [2]. Üretim tekniği açısından pasta-filata tipi peynirlerden olan geleneksel Diyarbakır Örgü peyniri (DÖP) de fermente telemesi yüksek sıcaklıkta haşlanan, tipik saç örgüsü şeklinde ve kolayca liflere ayrılabilen,

yarım yağlı ve sert bir peynirdir. Bu peynir taze olarak veya salamurada olgunlaştırılarak tüketime arzedilmektedir [3, 57].

Geleneksel DÖP, Diyarbakır ilinin güneybatısında yer alan Karacadağ Havzasında ilkbahar aylarında yoğun bir şekilde üretilmektedir. Söz konusu havzada tarıma elverişli alanların az olması, buna karşın geniş çayır-mera alanlarının varlığı nedeniyle koyunculuk başta olmak üzere, yaygın bir şekilde hayvancılık yapılmaktadır [3]. Bu havzada Nisan-Temmuz döneminde üretilen koyun sütü, küçük ölçekli süt

* İlgili Yazar: abdulkerimhatipoglu@artuklu.edu.tr

işletmelerinde çoğunlukla DÖP'ne işlenmektedir. 2012 yılı itibarıyla 200 civarında küçük aile işletmesi ve mandırada yaklaşık 8400 ton DÖP' nin üretildiği bildirilmiştir [4]. Havzadaki koyun, keçi ve inek popülasyonları ile birlikte süt üretimi verilerindeki artış dikkate alındığında, bu sayının iyimser bir tahminle bugün için 20 bin tonu aştığı söylenebilir [5].

Üretimdeki artışa paralel bir şekilde ülke sathında tüketimi de sürekli artan DÖP' ün belirli standartlar altında üretiminin yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda yapılan literatür araştırmasında, bugüne kadar DÖP'nin tekstürel özellikleri ile ilgili yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bilindiği gibi peynirin olgunlaşması sırasında, enzimatik aktivitenin etkisiyle meydana gelen biyokimyasal reaksiyonlar sonucu, peynir tekstüründe önemli değişimler ortaya çıkmaktadır [6]. Tekstür ise, gıdaların mekanik, yapısal ve yüzey özelliklerinin, işitme, dokunma, görme ve kinestetik yolla belirlendiği bir kalite kriteridir [7, 8]. Tekstür organoleptik yollarla subjektif olarak veya bazı ekipmanlar yardımıyla objektif olarak tespit edilebilmektedir [9-11]. Diğer taraftan DÖP' nin üretim bölgesinde olmak üzere, bu peynirin mikrobiyotası ile ilgili de her hangi bir çalışma ortaya konmamıştır. DÖP gibi çiğ süttten yapılan peynirlerde mikrobiyal çeşitliliğin yüksek olduğu bilinmektedir [12]. Fakat bu peynirlerin üretiminde, haşlama sonrası ve depolama aşamalarında yetersiz hijyen uygulamaları nedeniyle patojen bakterilerin varlığı, tüketici sağlığı açısından risk teşkil etmektedir. Ayrıca peynirin olgunlaşması aşamasında tat-aroma maddelerinin sentezlenmesinde, özellikle laktik asit bakterilerinin varlığı ve metabolik aktiviteleri diğer önemli bir husustur.

Geleneksel DÖP'nde piyasa araştırması niteliğindeki mikrobiyota çalışmaları ile endüstriyel Örgü peynirinin mikrobiyotası üzerine yapılan sınırlı sayıdaki çalışmanın özeti şöyledir: Geleneksel DÖP'nin mikrobiyal florası ile ilgili yapılan bir çalışmada, peynir florasında ortalama laktik asit bakteri sayısı 1.7×10^6 kob/g, koliform grubu bakteri sayısı 3.7×10^2 kob/g ve maya-küf sayısı ise 1.0×10^5 kob/g olarak bildirilmiştir [13]. Başka bir çalışmada ise, DÖP' nde *Lactobacillus* spp., *Lactococcus* spp., koliform bakteri sayıları ile *E. coli*, küf ve maya yükleri (kob/g) sırasıyla 3.4×10^6 , 3.7×10^6 , 3.6×10^4 , 5×10^3 , 2.2×10^3 , 3.1×10^4 olarak bildirilmiştir [14]. Aksu ve ark. (1999)' nın DÖP' nin mikrobiyotası ile ilgili yaptıkları çalışmada ise, koliform bakteri sayısı 3.2×10^2 kob/g, *E. coli* sayısı 4.3×10^1 kob/g ve maya-küf sayısı 4.9×10^4 kob/g olarak rapor edilmiştir [15]. Endüstriyel Örgü peynirinin mikrobiyotasının araştırıldığı bir çalışmada, laktik asit bakterileri, koliform ve maya-küf sayılarının sırasıyla 6.78, 3.73 ve 5.45 log kob/g olduğu ifade edilmiştir [16]. Aynı şekilde endüstriyel Örgü peyniri ile ilgili yapılan

başka bir çalışmada ise, *Lactobacillus* spp., koliform grubu bakteri ile maya-küf sayıları sırasıyla 1×10^8 , 5×10^4 ve 4.1×10^5 kob/g olarak bildirilmiştir [17].

Daha önce de ifade edildiği gibi, şimdiye kadar DÖP'nin tekstürel özellikleri ile ilgili herhangi bir çalışma ortaya konmamıştır. Bir diğer ifade ile bu çalışma, söz konusu peynirin tekstürel özellikleri ile ilgili yapılan ilk çalışma özelliğini taşımaktadır. Aynı şekilde bu çalışma, üretim bölgesinde direkt süt işletmelerinden alınan söz konusu peynirin mikrobiyotasını araştırmak için yapılan ilk çalışmadır. Bu çalışmada geleneksel DÖP'nin tekstürel ve mikrobiyolojik özelliklerinin tespit edilerek Türk Gıda Kodeksi ile Dil Peyniri Standardı bağlamında değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Diyarbakır ili Karacadağ Havzası'nda 8 adet küçük ölçekli süt işletmesinden 2013 yılı üretim sezonunda Nisan ayında 1, Mayıs ayında 3 defa olmak üzere toplam 4 defa peynir örneği alınmış ($n=32$), 6 ± 1 °C'de ve salamurada (geleneksel muhafaza yöntemi) 120 gün süreyle depolanmıştır.

2.1. Tekstürel analizler

DÖP örneklerinin tekstürel analizleri için TA.XT2 Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) cihazı kullanılmıştır. Peynir örnekleri 2 cm^3 olacak şekilde dilimlenmiştir. Analizler için silindirik alüminyum prop (P/50, 50 mm çap, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) kullanılmıştır. Çalışmada %80 sıkıştırma ile çalışılmış, prob hızı ise test öncesi 1 mm/s ve test anındaki hızı 5 mm/s olacak şekilde ayarlanmıştır. Test öncesi peynir örnekleri 25 °C'de 30 dakika depolanmış ve aynı sıcaklıkta analizler gerçekleştirilmiştir. Peynir örneklerinde sertlik (hardness), yapışkanlık (adhesiveness), elastikiyet (springiness), bağlayıcılık (cohesiveness), sakızimsılık (gumminess) ve çiğnenebilirlik (chewiness) analizleri yapılmıştır. Tekstür analizleri depolama periyodunun 1., 30., 60., 90. ve 120. günlerinde yapılmıştır.

2.2. Mikrobiyolojik analizler

DÖP örneklerinde laktik asit bakterileri ile istenmeyen kontaminatların (koliform grubu bakteriler, fekal koliform grubu bakteriler, *E.coli* ve maya-küf) varlığı ve yükleri depolama periyodunun 1., 15., 30., 60., 90. ve 120. günlerinde araştırılmıştır.

Örnek hazırlama: Geleneksel DÖP örneği (10 g), ilk dilüsyon hazırlamak için (10^{-1}) içinde 90 mL steril %2 (w/v) sodyum sitrat bulunan (yaklaşık 45 °C'de) steril stomacher torbasına aktararak homojenize edilmiştir. Daha sonra steril peptonlu su kullanılarak uygun dilüsyonlar hazırlanmıştır.

Laktik asit bakteri sayımı: Laktik asit bakteri sayımında, MRS ve M17 agar besiyerleri kullanılmıştır. *Lactobacillus* cinsi bakteriler için, MRS agar besiyerine (37 °C'de 48 saat), kok şekilli laktik asit bakterileri için ise M17 agar (37 °C'de 48 saat) besiyerine dökme plak yöntemiyle ekim yapılmış ve anaerobik şartlarda inkübasyona bırakılmıştır [18, 19].

İstenmeyen kontaminant varlığı ve yükü: Koliform ve fekal koliform grubu bakterilerin sayımı amacıyla VRBA besiyerine ekim yapılmıştır. Koliform grubu için 30 °C'de 24 saat, fekal koliform grubu için ise 44 °C'de 24 saat inkübasyon normu uygulanmıştır. Maya-küf sayımları için, asitliği tartarik asitle (%10' luk, 14 mL/L) asitliği pH 3.5'e ayarlanan PDA besiyerine ekim yapılmış ve petriler 25 °C'de 5 gün inkübasyona bırakılmıştır [17, 18]. *E. coli* varlığı ve sayımı için Chromocult TBX agar besiyerine dökme plak yöntemiyle ekim yapılarak, 44 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası, petrilerde direk koloni sayımı yapılmıştır.

2.3. İstatistiksel değerlendirme

Çalışmaya ait veriler tek yönlü ANOVA ile analiz edilmiş (MINITAB® 16.1), önemli bulunan ortalamalar arasındaki farklılık Tukey çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir [20]. Analiz öncesi mikrobiyolojik parametrelere ait veriler, logaritmik transformasyona (log kob/g) tabi tutulmuştur.

Tablo 1. Depolama periyodu boyunca geleneksel DÖP' inin tekstürel özelliklerine ait ortalama değerler ve oluşan gruplar (n=32)*

DP	Sertlik (N)	Yapışkanlık (N.s)	Elastikiyet (cm)	Bağlayıcılık	Sakızimsılık (N)	Çiğnenbilirlik (mJ)
1. gün	11087 ^a	-0.26 ^a	0.87 ^a	0.75 ^a	8338 ^a	7248 ^a
30. gün	9979 ^b	-0.43 ^b	0.84 ^b	0.72 ^b	7150 ^b	6012 ^b
60. gün	8970 ^c	-0.55 ^c	0.83 ^b	0.70 ^{bc}	6272 ^c	5188 ^c
90. gün	7934 ^d	-0.71 ^d	0.81 ^c	0.68 ^c	5424 ^d	4375 ^d
120. gün	6852 ^e	-0.90 ^e	0.76 ^d	0.65 ^d	4480 ^e	3408 ^e
Ortalama	8964	-0.57	0.82	0.70	6333	5246
SS	566.99	0.11	0.03	0.03	619.98	620.76

DP: Depolama periyodu; SS: Standart sapma

*Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir (P <0.01).

Tablo 2. Depolama periyodu boyunca geleneksel DÖP florasında bazı mikrobiyolojik özelliklerine ait ortalama değerler (log kob/g) ve oluşan gruplar (n=32)

DP	Kok şekilli LAB	Basil şekilli LAB	Koliform grubu bakteriler	Fekal koliform grubu bakteriler	<i>E. coli</i>	Maya-Küf
1. gün	7.89 ^a	7.84 ^a	5.55 ^a	4.64 ^a	3.57 ^a	2.95 ^a
15. gün	7.77 ^{ab}	7.44 ^b	5.09 ^b	4.00 ^b	2.50 ^b	2.62 ^b
30. gün	7.77 ^{ab}	7.31 ^b	4.61 ^c	3.56 ^c	1.61 ^c	2.68 ^{ab}
60. gün	7.53 ^{bc}	7.22 ^b	3.06 ^d	2.07 ^d	<1.00 ^d	2.45 ^b
90. gün	7.29 ^{cd}	6.81 ^c	<1.00 ^e	<1.00 ^e	<1.00 ^d	2.48 ^b
120. gün	7.16 ^d	6.92 ^c	<1.00 ^e	<1.00 ^e	<1.00 ^d	2.60 ^b
Ortalama	7.57	7.26	3.39	2.72	1.78	2.63
SS	0.55	0.58	0.49	0.48	0.46	0.53

DP: Depolama periyodu; SS: Standart sapma

*Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir (P <0.01).

3. Bulgular

Depolama periyodu boyunca, geleneksel DÖP' nin tekstürel parametrelerinde (sertlik, yapışkanlık, elastikiyet, bağlayıcılık, sakızimsılık ve çiğnenbilirlik) istatistiksel olarak çok önemli (P<0.01) düzeyde azalma görülmüştür. Depolama periyodu boyunca geleneksel DÖP' inin tekstürel özelliklerine ait ortalama değerler ve oluşan gruplar Tablo 1'de verilmiştir.

Geleneksel taze DÖP'nin sertliği 11087 N iken olgun peynirde bu değer azalmış ve 6852 N değerini almıştır. Peynirin yapışkanlık değeri, depolama periyodunun 1.gününde -0.26 N.s, periyot ile birlikte negatif bir artış göstermiş ve 120.günde -0.90 N.s değerini almıştır. Peynirin elastikiyet ve bağlayıcılık değerleri periyot boyunca önemli düzeyde azalmıştır. Depolama periyodunun 1.gününde peynirde sakızimsılık değeri 6272 N iken, periyot boyunca azalmış ve 120.gününde 4480 N değerini almıştır. Benzer şekilde, peynirin çiğnenbilirlik değerleri, periyot boyunca önemli düzeyde azalmış ve 7248 mJ değerinde 3408 mJ değerine düşmüştür (Tablo 1).

Geleneksel DÖP' nin araştırılan tüm mikrobiyolojik parametreleri (*Lactococcus* sp., *Lactobacillus* sp., koliform grubu bakteriler, fekal koliform grubu bakteriler ve maya-küf) depolama periyodu boyunca önemli düzeyde (P<0.01) azalma göstermiştir.

Depolama periyodu boyunca geleneksel DÖP florasında bazı mikrobiyolojik özelliklerine ait ortalama değerler (log kob/g) ve oluşan gruplar, Tablo 2’de verilmiştir.

DÖP florasında, kok şekilli (*Lactococcus* sp., *Enterococcus* sp.) bakteri sayısı depolama periyodunun ilk gününde 7.89 log kob/g iken periyot boyunca azalmış ve periyodun 120. gününde 7.16 kob/g düzeyine inmiştir. Benzer bir azalma, peynir florasında basil şekilli (*Lactobacillus* sp.) bakteri yükünde de görülmektedir. DÖP florasında koliform ve fekal koliform grubu bakteri sayıları periyodun 90. gününde <1 log kob/g düzeyine inmiştir. Peynir florasında *E.coli* sayısı ise periyodun 60. günde <1 log kob/g seviyesine inmiştir. Söz konusu peynirin florasında maya-küf sayısı, periyodun 1.gününde 2.95 log kob/g, bu sayı 60.günde azalmış ve 2.48 log kob/g olarak hesaplanmıştır; periyodun 90. ve 120.günlerinde ise nisbi bir artış göstermiş, ancak bu durum istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

4.1. Tekstürel özellikler

Olgunlaşma periyodunda oluşan proteoliz düzeyi, tuz oranı ve nem içeriği peynirin sertliğini etkilemektedir [22-25]. Tablo 1’de görüldüğü gibi, DÖP’ inde sertlik değeri depolama periyodu boyunca önemli düzeyde azalmıştır. Bilindiği gibi sertlik ve nem arasında ters bir ilişki bulunmaktadır [10, 26]. Bu durum, salamura olgunlaştırılan DÖP’ nde proteoliz ve lipoliz sonucu oluşan parçalanma ürünlerinin daha fazla su tutmalarından kaynaklanmış olabilir. Pasta-filata tipi peynir çeşidi olan ve kuru tuzlanan Kaskaval peynirinin sertlik değerlerinin ise depolama süresince arttığı bildirilmiştir [8]. Araştırmacılar bu durumu, depolama periyodu boyunca nem kaybına bağlı olarak, peynirin KM oranının artması sonucu peynir sertliğinin arttığı şeklinde açıklamışlardır.

Salamurada olgunlaştırılan DÖP’nde nem oranının depolama periyodu boyunca arttığı bildirilmiştir (Tablo 3) [3].

Diğer taraftan sertlik ve proteoliz düzeyi arasında da negatif bir korelasyon olduğu; başka bir deyişle, peynirde proteoliz düzeyi arttıkça, sertlik değerlerinde azalma olduğu bildirilmiştir [22]. Peynir tekstüründe yumuşama, olgunlaşma periyodunun başlangıcında pıhtılaştırıcı enzimler ile α_{s1} -kazeinin phe23-phe24 arasındaki peptid bağının parçalanması ile başlamakta, daha sonra α_{s1} -CN (f24-199) (α_{s1} -I-kazein) ve diğer kazein miseli bileşenlerinin parçalanması ile devam etmektedir [26]. Bu bağlamda pıhtısı haşlanan peynirlerden Kaşar peyniri [28, 29], Caciocavallo Pugliese [30] ve Kefalogravyer peynirlerinde [31] olgunlaşmayla birlikte sertliğin azaldığı; çiğ inek ve manda sütü karışımından üretilen, pıhtısı haşlanan ve kuru tuzlanan Ras peynirinde [25] ise olgunlaşma ile birlikte sertliğin arttığı bildirilmiştir. Diğer taraftan pıhtısı haşlanan ve vakum ambalajda olgunlaştırılan Oaxaca peynirinde sertlik değerinin, olgunlaşma periyodunun 8. gününe kadar ihmal edilecek düzeyde arttığı, daha sonra periyodun 24. gününe kadar azaldığı (16.16 N) rapor edilmiştir [32]. Taze Hellim peynirinde sertlik değerinin 7.88 N olduğu, %13 tuz içeren salamurada 48 saat depolama sonrası bu değer 15.46 N’ye yükseldiği bildirilmiştir [33]. Pasta-filata tipi peynir çeşidi olan taze Telita peynirinde sertlik değerinin 20.44 N olduğu bildirilmiştir [34].

Olgun peynirlerde, lipoliz sonucu peynirde yağ oranının azalması ile birlikte yapışkanlık değerinin de azaldığı bildirilmektedir [35]. Diğer taraftan yapışkanlığın peynirin asitliği, proteoliz düzeyi, protein ve yağ fraksiyonlarının polar karakteristikleri ile ilişkili olduğu bildirilmiştir [36]. DÖP’nin ortalama yapışkanlık değeri taze peynirde -0.26 N.s iken, olgun (120 günlük) peynirde -0.90 N.s olarak tespit edilmiştir (Tablo 1). Üretim prosesi bakımından DÖP ile benzerlik gösteren Telli peynirin 90 günlük olgunlaşma periyodu boyunca yapışkanlık değerinin arttığı [36], taze Telita peynirinde ise bu değer, -0.66 N.s olarak bildirilmiştir [33]. Taze (1 günlük) Oaxaca peynirinde bu değer, 12.6 N.s iken, periyodun sonunda (24 günlük) ise bu değer artmış ve 42.7 N.s olmuştur [32].

Tablo 3. Depolama süresince Diyarbakır Örgü Peynirinin bileşim özelliklerine ait ortalama değerler (%) ve oluşan gruplar (n=32)[3]

DP (gün)	KM	Protein	Yağ	KM’de Yağ	Kül	Tuz	KM’de Tuz
1	55.44 ^a	26.56 ^a	21.56 ^a	38.84 ^a	7.31 ^c	6.31 ^c	11.40 ^e
30	55.32 ^a	25.84 ^b	20.71 ^b	37.38 ^{bc}	8.77 ^b	7.70 ^b	13.95 ^d
60	54.75 ^a	25.23 ^c	20.33 ^{bc}	37.07 ^c	9.19 ^a	8.04 ^a	14.72 ^c
90	53.78 ^b	24.36 ^d	20.19 ^{bc}	37.47 ^{bc}	9.22 ^a	8.11 ^a	15.09 ^b
120	52.84 ^c	23.47 ^e	20.06 ^c	37.88 ^b	9.32 ^a	8.16 ^a	15.48 ^a
Ort.	54.43	25.20	20.57	37.73	8.77	7.67	14.13
SS	1.13	0.64	0.80	0.99	0.33	0.27	0.52

DP: Depolama periyodu; SS: Standard sapma; KM: Kurumadde

*Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir (P <0.01).

Taze peynirlerin olgun olanlara göre daha elastik olduğu, bu durumun da muhtemelen taze peynirlerin

daha fazla yağ içermesinden kaynaklandığı [37], ayrıca elastikiyet ile yapışkanlık, bağlayıcılık ve

çiğnenabilirlik değerleri arasında pozitif bir korelasyon olduğu bildirilmiştir [38]. DÖP' inde elastikiyet değeri, 120 günlük depolama periyodu boyunca önemli düzeyde azalmıştır (Tablo 1). Tel peynirinde olgunlaşma periyodunun 30. gününde elastikiyet değerinin arttığı, periyodun 90. gününe kadar ise bu değer sabit kaldığı bildirilmiştir [36]. Kaşar peynirinde, depolama periyodunun 45. gününe kadar elastikiyet değerinin istatistiksel olarak sabit kaldığı, depolama periyodunun 90. gününe kadar bu değer azaldığı bildirilmiştir [29]. Oaxaca peynirinin elastikiyet değeri, depolama periyodunun 8. gününe kadar istatistiksel olarak önemli bir değişikliğin olmadığı (0.80-0.69 cm), periyodun devam eden günlerinde ise bu değer azaldığı (0.64-0.59 cm) ifade edilmiştir [32]. Diğer taraftan çiğ süttten üretilen pasta-filata tipi Ras peynirinin elastikiyet değerinde depolama periyodu boyunca istatistiksel olarak önemli bir değişikliğin olmadığı bildirilmiştir [25].

Olgunlaşma periyodunda lipoliz [35] ve proteoliz düzeylerinin yükselmesi sonucu [39], peynirde bağlayıcılık değerinin azaldığı bildirilmiştir. DÖP' nin ortalama bağlayıcılık değeri, depolama periyodunun 1. gününde 0.75 birim iken, periyot boyunca azalmış ve 120. günde 0.65 birim olarak hesaplanmıştır. Kaşar peynirinin bağlayıcılık değerinin, depolama periyodunun 45. gününe kadar istatistiksel olarak değişmediği, takip eden depolama günlerinde ise bu değer azaldığı bildirilmiştir [29]. Diğer taraftan Tel peynirinde depolama periyodunun 30. gününe kadar bağlayıcılık değerinin arttığı, periyodun geri kalan döneminde ise sürekli olarak azaldığı ifade edilmiştir [36]. Ayrıca, depolama periyodunda çiğ süttten yapılan Ras peynirinde bağlayıcılık değerinde istatistiksel olarak önemli bir değişikliğin olmadığı bildirilmiştir [25]. Benzer şekilde, 24 günlük depolama süresince Oaxaca peynirinde de bağlayıcılık değerindeki değişimin istatistiki olarak önemli olmadığı belirtilmiştir [32]. Söz konusu durumu destekleyen bir başka çalışmada, %13 tuz içeren salamurada 4 °C'de 48 saat depolanan Hellim peynirinde bağlayıcılık değerinin değişmediği (0.49) tespit edilmiştir [33]. Diğer taraftan, taze Telita peynirinde ortalama bağlayıcılık değerinin 0.6 olduğu bildirilmiştir [34].

Tablo 1'de görüldüğü gibi, DÖP' inde sakızimsılık (gumminess) değerleri, depolama periyodu boyunca önemli düzeyde azalmıştır. 90 günlük depolama periyodu boyunca Kaşar peynirinin sakızimsılık değerinde istatistiksel olarak bir değişikliğin olmadığı [29], Tel peynirde depolama periyodunun 30. gününe kadar sakızimsılık değerinde bir artış, depolamanın takip eden günlerinde ise sürekli azalma olduğu [36], Kefalogravyer peynirinde ise olgunlaşma periyodu boyunca sakızimsılık değerinin azaldığı bildirilmiştir [31].

Beyaz peynire oranla, taze DÖP oldukça uzun sürede çiğnenerek yutmaya hazır hale getirilmektedir. DÖP'nin çiğnenabilirlik değerleri, depolama periyodu boyunca azalma göstermiştir (Tablo 1). Bu durum, periyot boyunca peynirin yumuşamasından kaynaklanmış olabilir [3]. Ras peynirinde 120 günlük depolama periyodu boyunca çiğnenabilirlik değerlerinin arttığı [25], Tel [36] peynirinde ise bu değer olgunlaşma periyodu boyunca dalgalı bir seyir izlediği bildirilmiştir. Taze Telita peynirinde ise bu değer 8.11 N olarak rapor edilmiştir [34].

Taze ve olgun DÖP, tekstürel özellikleri açısından önemli düzeyde bir birinden farklılık arz etmektedir. Bu bağlamda olgun peynire oranla, taze peynirin sert, yapışkan, elastikiyet, bağlayıcılık, sakızimsılık ve çiğnenabilirlik değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Başka bir ifadeyle, analiz edilen tekstürel özellikler bakımından olgunlaşma periyodu boyunca DÖP'nin yumuşadığı ve tüketime uygun hale geldiği sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan süttün bileşimi, peynir üretim prosesi ve peynirin olgunlaşma prosesi de peynir tekstürünün oluşumuna etki etmektedir [21].

4.2. Mikrobiyolojik parametreler

DÖP florasında M17 agarda gelişen kok şekilli (*Lactococcus* spp., *Enterococcus* spp.) bakteri sayısı, olgunlaşma periyodunun 1. gününde 7.89 log kob/g iken, periyot boyunca nispi bir azalma göstermiş ve periyodun 120. gününde 7.16 log kob/g değerine ulaşmıştır. Bu durum, olgunlaşma periyodunun sonuna kadar *Lactococcus* spp. bakteri sayısının azaldığını bildiren bazı araştırmacıların [40-43] bulgularıyla benzerlik gösterirken, diğer bazı araştırmacıların [44-46] bulgularından farklılık göstermiştir. Peynir florasında kok şekilli bakteri sayısındaki bu farklılık, peynir üretiminde uygulanan teknolojik işlemler ile üretimde kullanılan çiğ süttün mikrobiyal florasının farklı olmasından kaynaklanmış olabilir.

DÖP'nin ortalama basil şekilli (*Lactobacillus* spp.) bakteri sayısı, taze (1 günlük) peynirde 7.84 log kob/g olduğu ve olgunlaşma periyodu boyunca istatistiki olarak önemli düzeyde azaldığı, periyodun 90. gününde bu sayının 6.81 log kob/g değerine düştüğü görülmektedir (Tablo 2). Benzer durum, bazı araştırmacılar tarafından Beyaz peynir [42], Roncal peyniri [41] ve Dil peynirinde [46] de rapor edilmiştir. Aksine, salamurada olgunlaştırılan Tulum peyniri ile Zamorano peynirinde, olgunlaşma periyodu boyunca *Lactobacillus* cinsi bakterilerin istatistiki olarak belirli bir süre arttığını bildiren diğer araştırmacıların [47, 48] bulgularından farklılık göstermektedir.

DÖP florasında koliform grubu bakteri sayısı, olgunlaşma periyodu boyunca çok önemli düzeyde azaldığı görülmektedir (Tablo 2). Bu bağlamda, DÖP

florasında olgunlaşma periyodunun 1. ve 90. günlerinde ortalama koliform grubu bakteri sayıları sırasıyla 5.55 log kob/g ve <1.00 log kob/g olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada koliform grubu bakteri sayısı bakımından DÖP'nin taze olarak tüketilmesi tüketici sağlığı açısından enfeksiyonel risk oluşturmakta, ancak olgunlaştırma periyodunun 90. gününde riskin minimize olduğu anlaşılmaktadır. Üretim prosesi açısından DÖP'ne benzeyen Dil peynirinin en fazla 95 kob/g (1.98 log kob/g) koliform grubu bakteri içerebileceği bildirilmiştir [49]. Koliform grubu bakteri yükü açısından, DÖP'nin olgunlaşma periyodunun 90. gününde Dil peyniri Standardına uygun hale geldiği, başka bir deyişle, periyodun 90. gününde gıda güvenliği ve tüketici sağlığı bakımından peynirde riskin minimize olduğu sonucuna varılmıştır. Birçok araştırmacı tarafından koliform grubu bakteri sayısının, olgunlaşma periyodunun ilk gününden itibaren devamlı bir şekilde azalma gösterdiği ve peynir çeşitlerine göre farklı zamanlarda tamamen elemine olduğu bildirilmiştir [45-47, 50, 51]. Dil peynirinin mikrobiyal florası ile ilgili yapılan bir çalışmada, çiğ süttten üretilen peynirde olgunlaşma periyodunun 90. gününde 2.06 log kob/g düzeyinde koliform grubu bakterinin canlı kaldığı, dolayısıyla bu grup bakteriler açısından standarda uygun olmadığı ve tüketici sağlığı açısından risk taşıdığını bildirilmiştir [46]. Starter kültür kullanılarak pastörize süttten üretilen Keçi peynirinde olgunlaşma periyodunun uzaması ile birlikte koliform grubu bakteri sayısının azaldığı, ayrıca pH'nın düşmesi sonucu koliform grubu bakteri sayısının azaldığı, koliform grubu bakteri sayısı ile olgunlaşma süresi arasında negatif ve önemli bir ilişki olduğu bildirilmiştir [52]. Diğer taraftan, olgunlaşma periyodu boyunca koliform grubu bakteri sayısındaki azalmanın, periyot boyunca peynirde nem oranında azalma ve tuz oranındaki yükselmeden kaynaklandığı bildirilmiştir [19].

DÖP florasında, fekal koliform grubu bakteri sayısı taze peynirde (1 günlük) 4.64 log kob/g iken, depolama periyodu boyunca bu sayı azalmış ve periyodun 90 gününde peynirde <1 log kob/g değerine düşmüştür. Çiğ süttten üretilen Dil peynirinde fekal koliform grubu bakteri sayısı olgunlaşma periyodunun başlangıcında 2.45 log kob/g, periyodun 90. gününde ise 1.04 log kob/g olarak bildirilmiştir [46]. Telemesi haşlanan Montasio peynirinde, fekal koliform grubu bakterilerin depolama periyodunun 30.gününde <1 log kob/g düzeyine düştüğü [47], çiğ keçi süttünden üretilen Tenerife peynirinde ise olgunlaşma periyodunun 60. gününde fekal koliform grubu bakterilerin sayılamadığı bildirilmiştir [53].

Bu çalışmada elde edilen verilere göre, taze DÖP florasında ortalama 3.57 log kob/g *E.coli* varlığına karşılık, 4 aylık depolama periyodu boyunca fekal koliform grubu bakteri sayısındaki azalmaya paralel

bir şekilde söz konusu bakteri sayısı azalmış ve 60. günde peynir florasında ortalama *E.coli* sayısı <1 log kob/g (<2.54) olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Bu veriler doğrultusunda, olgunlaşma periyodunun 60. gününde tüketici sağlığı bakımından riskin minimize olduğu ve DÖP'nin tüketime sunulabileceği sonucuna varılmıştır [49, 58]. Ancak, üretim prosesi bakımından geleneksel DÖP ile benzerlik gösteren Dil peynirinin olgunlaşma periyodu boyunca *E. coli* sayısının azaldığı, periyodun 90. gününde bile bu sayının <1 log kob/g değerine düşmediği bildirilmiştir [46].

DÖP florasında maya-küf sayısı, depolama periyodu boyunca çok önemli düzeyde ($P<0.01$) azalma göstermiştir (Tablo 2). Tabloda görüldüğü gibi, DÖP florasında en yüksek ortalama maya-küf sayısı 2.95 log kob/g ile taze peynirde, en düşük maya-küf sayısı ise 2.45 log kob/g ile olgunlaşma periyodunun 60. gününde tespit edilmiş, periyodun 90. gününden sonra peynirin maya-küf varlığında gözlenen artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Örgü ve Lavaş peynirlerinin mikrobiyolojik parametrelerine ilişkin yapılan farklı çalışmalarda, söz konusu peynirlerin maya-küf yükü 4.69-5.61 log kob/g aralığında bildirilmiştir [13-17, 54].

Dil Peyniri Standardına göre, peynirde maksimum maya sayısı 1×10^4 kob/g ve maksimum küf sayısı ise 1×10^3 kob/g ile sınırlandırılmıştır [49]. Bu bağlamda çalışmadaki veriler esas alındığında, Dil peyniri ile üretim prosesi bakımından benzerlik gösteren DÖP, olgunlaştırma periyodunun ilk gününden itibaren, maya-küf yükü açısından anılan standarda uygunluk arz etmiştir. Peynir florasında olgunlaşma periyodu boyunca maya-küf sayısının sürekli azalma göstermesi bazı araştırmacıların [42, 45, 46] salamurada olgunlaştırılan Montasio, Beyaz peynir ve Dil peynirindeki bulgularıyla benzerlik göstermekte, olgunlaşma periyodunun belirli günlerine kadar sayıca arttıktan sonra zamanla azaldığını belirten Manolopoulou ve ark. [55]'nin Feta peynirinde tespit ettikleri bulgulardan farklılık arz etmektedir. Peynir florasında olgunlaşma periyodunun sonuna kadar maya-küf varlığı tespit edilmesi, bu mikroorganizmaların geniş bir su aktivitesi aralığında (aw: 0.65-0.90), düşük pH (bazı durumlarda pH 3' ün altında) ve düşük sıcaklıkta gelişebilme yeteneklerine bağlanabilir [56].

Pasta-filata tipi bir peynir çeşidi olan DÖP florasında, depolama periyodunun başlangıcında koliform, fekal koliform, *E. coli* ve maya-küf gibi istenmeyen kontaminant yüklerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, üretim ve depolama aşamalarında hijyen ve sanitasyon kurallarına gereken özenin gösterilmemesinden kaynaklandığı ifade edilebilir. DÖP florasında olgunlaşma periyodunun 60. gününde *E.coli*, periyodun 90. gününde ise koliform ve fekal koliform grubu

bakterilere ait koloniler tespit edilememiştir. Ayrıca, peynirde koliform grubu bakteri yükü Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği ile Dil Peyniri Standardında izin verilen 10^3 kob/g düzeyine düşmüştür [49, 58]. Bu durum, DÖP' nin olgunlaşma periyodunun 60. gününde tüketici sağlığı bakımından riskin minimize olduğu ve güvenilirlik kazandığını ifade etmektedir.

Geleneksel yöntemlerle üretilen taze DÖP' nin sert ve elastik olduğu, olgunlaşma periyodu boyunca yumuşayarak elastikiyetinin azaldığı, olgun peynirin ise daha yapışkan, ancak daha kolay çiğnenebildiği söylenebilir. Bu durum, depolama periyodu boyunca peynir matriksinde lipolitik ve proteolitik parçalanmalar sonucu ve peynirdeki nem değerinin artmasından kaynaklanmıştır.

Türk Gıda Kodeksi Peynir Tebliği'nde, peynir mayası ile elde edilen teleminin fermantasyonu sonrasında tuzlu/tuzsuz sıcak su içerisinde veya sıcak peyniraltı suyunda haşlanması sonucu üretilen Örgü peyniri, Dil peyniri, Abaza peyniri ve Kaşar peyniri gibi peynirlerin taze olarak tüketime arz edilebileceği belirtilmiştir [57]. Ancak üretim ve depolama aşamalarında hijyenik kurallara yeterince uyulmaması nedeniyle, DÖP' nin florasında depolama periyodunun 60. gününde koliform, fekal koliform ve *E. coli* yükünün yüksek olması ve bu hali ile tüketime sunulmaması tüketici sağlığı bakımından önem taşımaktadır. Bu bağlamda, DÖP üretim prosesinde, haşlama sonrası teleme hamurunun yoğrulması, gramajlama sonrası hamurun ip şeklinde uzatılarak tipik saç örgüsü şeklinde örülmesi aşamaları ile salamura hazırlama ve muhafaza edilmesinde yoğun işçiliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu üretim aşamalarında, özellikle çalışanların, kişisel bakımları ile ekipmanların kullanımında hijyen ve sanitasyon kurallarına uymadıklarını göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (HÜBAK Proje No: 12019) tarafından desteklenmiştir.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

[1] McSweeney, P. L. H., Ottogalli, G., Fox, P. F., 2004. Diversity of cheese varieties: An overview. In Cheese: Chemistry, physics and microbiology.

Volume 2, ss 1-23. London, UK: Elsevier Applied Science. 434s.

- [2] Pappa, E. C., Kondyli, E., Samelis, J., 2019. Microbiological and biochemical characteristics of Kashkaval cheese produced using pasteurised or raw milk. *International Dairy Journal*, 89, 60-67.
- [3] Hatipoglu, A., Celik, S., 2020. The compositional and biochemical characteristics of traditional Diyarbakır Örgü cheese during the ripening period. *Indian Journal of Dairy Science*, 73(4), 312-320.
- [4] Hatipoğlu, A., Çelik, Ş., 2012. Diyarbakır İli Karacadağ Havzasında Üretilen Geleneksel Peynirler ve Karşılaşılan Sorunlar. 3.Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 10-12 Mayıs, Konya, 89-92.
- [5] Anonim, 2020. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), Hayvancılık İstatistikleri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=101&locale=tr> (Erişim tarihi: 01.10.2020).
- [6] Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., McSweeney, P. L. H., 2000. *Fundamentals of Cheese Science*. Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland, 638s.
- [7] Ertaş, N., Doğruer, Y., 2010. Besinlerde Tekstür. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 7(1), 35-42.
- [8] Andronoiu, D.G., Botez, E., Nistor, O.V., Mocanu, G.D., 2015. Ripening process of Cascaval cheese: compositional and textural aspects. *Journal of Food Science and Technology*, 52(8), 5278-5284.
- [9] Cardello, A.V., Matas, A., Sweeney, J., 1982. The Standard Scales of Texture: Rescaling by Magnitude Estimation. *Journal of Food Science*, 47, 1738-1742.
- [10] Szczesniak, A. S., 1963. Classification of Textural Characteristics. *Journal of Food Science*, 28(4), 385-389.
- [11] Van Vliet, T., 2002. On the Relation Between Texture Perception and Fundamental Mechanical Parameters for Liquids and Time Dependent Solids. *Food Quality and Preference*, 13, 227-236.
- [12] McSweeney, P. L. H., Fox, P. F., Lucey, J. A., Jordan, K. N., Cogan, T. M., 1993. Contribution of the Indigenous Microflora to the Maturation of Cheddar Cheese. *International Dairy Journal*, 3, 613-634.
- [13] Özdemir, S., Çelik, Ş., Özdemir C., Sert S., 1998. Diyarbakır'ın Karacadağ Yöresinde Mahalli Olarak Yapılan Örgü Peynirinin Mikrobiyolojik Ve Kimyasal Özellikleri. V. Süt ve Süt Ürünleri Sempozyumu. 21-22 Mayıs, Tekirdağ, 154-166.

- [14] Vural, A., Erkan, M. E., Guran, H. Ş., 2010. The Examination of the Microbiologic Quality in Örgü Cheese (Braided Cheese) Samples. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 16(Suppl-A), 53-58.
- [15] Aksu, H., Çolak, H., Vural, A., Erkan, M. E., 1999. Diyarbakır Bölgesinde Üretilen Örgü Peynirlerde Mikrobiyolojik ve Kimyasal Özellikler Üzerine Bir Araştırma. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 10(1-2), 8-11.
- [16] Türkoğlu, H., Ceylan, Z. G., Dayisoğlu, K. S., 2003. The Microbiological and Chemical Quality of Örgü Cheese Produced in Turkey. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2(2), 92-94.
- [17] Anar, S., Soyutemiz, E., Çetinkaya, F., 2000. Örgü Peynirin Üretim Aşamalarında Görülen Bazı Mikrobiyolojik ve Kimyasal Değişimler. *Veteriner Fakültesi Dergisi*, 19(1-2), 81-85.
- [18] Caridi, A., 2003. Identification and First Characterization of Lactic Acid Bacteria Isolated From Artisanal Ovine Cheese Pecorino del Poro. *International Journal of Dairy Technology*, 56, 105-110.
- [19] Gerasi, E., Litopoulou-Tzanetaki, E., Tzenatakis, N., 2003. Microbiological Study of Manura, a Hard Cheese Made from Raw Ovine Milk in the Greek island Sifnos *International Journal of Dairy Technology*, 52, 117-122.
- [20] Yıldız, N., Bircan, H., 1994. Araştırma ve Deneme Metotları. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yay. No: 305, Erzurum, 266s.
- [21] Koçak, C., 1988. Peynirde Tekstür Oluşumu. *Gıda*, 13(1), 13-16.
- [22] Fedrick, I., 1987. Technology and Economics of the Accelerated Ripening of Cheddar Cheese. *Australian Journal of Dairy Technology*, 42, 33-36.
- [23] Mistry, V. V., Kasperson, K. M., 1998. Influence of Salt on the Quality of Reduced Fat Cheddar Cheese. *Journal of Dairy Science*, 81,1214-1221.
- [24] Say, D., 2008. Haşlama Suyunun Tuz Konsantrasyonu ve Depolama Süresinin Kaşar Peynirinin Özellikleri Üzerine Etkileri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 131s, Adana.
- [25] Awad, S., 2006. Texture And Flavour Development in Ras Cheese Made From Raw and Pasteurised Milk. *Food Chemistry*, 97, 394-400.
- [26] Girard, J.P., Culioli, J., Maillard, T., Denoyer, C., Tauraille, C., 1990. Influence of Technological Parameter on the Structure of Batter and the Texture of Frankfurter type Sausages. *Meat Science*, 27,13-28.
- [27] Creamer, L. C., Olson, N. F., 1982. Rheological Evaluation of Maturing Cheddar Cheese. *Journal of Food Science*, 47(2), 631-646.
- [28] Koca, N., 2002. Bazı İkame Maddelerinin Yağı Azaltılmış Taze Kaşar Peynirinin Nitelikleri Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 227s, İzmir.
- [29] Yaşar, K., 2007. Farklı Pıhtılaştırıcı Enzim Kullanımının ve Olgunlaşma Süresinin Kaşar Peynirinin Özellikleri Üzerine Etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 134s, Adana.
- [30] Gobbetti, M., Morea, M., Baruzzi, F. Corbo, M.R., Matarante, A., Considine, T., Di Cagno, R., Guinee, T., Fox, P. F., 2002. Microbiological, Compositional, Biochemical and Textural Characterisation of Caciocavallo Pugliese Cheese during Ripening. *International Dairy Journal*, 12, 511-523.
- [31] Katsiari, M. C., Voutsinas, L. P., Kondyli, E., 2002. Improvement of Sensory Quality of Low-Fat Kefalograviera-type Cheese with Commercial Adjunct Cultures. *International Dairy Journal*, 12, 757-764.
- [32] Fuentes, L., Mateo, J., Quinto, E. J., Caro, I., 2015. Changes in quality of nonaged pasta filata Mexican cheese during refrigerated vacuum storage. *Journal of Dairy Science*, 98, 2833-2842.
- [33] Kaminarides, S., Moschopoulou, E., Karali, F., 2019. Influence of Salting Method on the Chemical and Texture Characteristics of Ovine Halloumi Cheese. *Foods*, 8, 232.
- [34] Maldonado, R. Melendez, B., Arispe, I., Boeneke, C., Torrico, D., Prinyawiwatkul, W., 2013. Effect of pH on technological parameters and physicochemical and texture characteristics of the pasta filata cheese Telita. *Journal of Dairy Science*, 96, 7414-7426.
- [35] Yates, M. D., Drake, M. A., 2007. Texture Properties of Gouda Cheese. *Journal of Sensory Studies*, 22, 493-506
- [36] Kesenkaş, H., Dinkçi, N., Seçkin, K., Gürsoy, O., Kınık, Ö., 2012. Physicochemical, Biochemical, Textural and Sensory Properties of Telli Cheese - A Traditional Turkish Cheese Made from Cow Milk. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 18(5), 763-770.
- [37] Fresno, M., Alvarez, S., 2012. Chemical, Textural and Sensorial Changes during the Ripening of Majorero Goat Cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 65(3), 393-400.
- [38] Aday, M. S., Caner, C., Karagül-Yüceer, Y., 2010. Instrumental and Sensory Measurements of Ezine Cheese Texture. *Akademik Gıda*, 8(3), 6-10.

- [39] Delgado, F. J., Gonzalez-Crespo, J., Cava, R., Ramirez, R., 2011. Proteolysis, Texture and Colour of a Raw Goat Milk Cheese throughout The Maturation. *European Food Research and Technology*, 233, 483-488.
- [40] Patir, B., Ateş, G., Dinçoğlu, A. H., 2001. Geleneksel Yöntemle Üretilen Tulum Peynirinin Olgunlaşması Sırasında Meydana Gelen Mikrobiyolojik ve Kimyasal Değişimler Üzerine Araştırmalar. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 15(1), 1-8.
- [41] Ortigosa, M., Arizcun, C., Irigoyen, A. Oneca, M., Torre, P., 2006. Effect of Lactobacillus Adjunct Cultures on the Microbiological and Physicochemical Characteristics of Roncal-type Ewes'-Milk Cheese. *Food Microbiology*. 23, 591-598.
- [42] Öner, Z. Karahan, A. G., Aloğlu, H., 2006. Changes in the Microbiological and Chemical Characteristics of an Artisanal Turkish White Cheese During Ripening. *LWT*, 39, 449-454.
- [43] Calvo, M. V., Castillo, I., Diaz-Barcos, V., Requena, T., Fontecha, J., 2007. Effect of a Hygienized Rennet and a Defined Strain Starter on Proteolysis, Texture and Sensory Properties of Semi-Hard Goat Cheese. *Food Chemistry*, 102, 917-924.
- [44] Güven, M., Konar, A., 1984. İnek Sütlerinden Üretilen ve Farklı Ambalajlarda Olgunlaştırılan Tulum Peynirlerinin Mikrobiyolojik Özellikleri. *Gıda*, 19(3), 179-185.
- [45] Marino, M., Maifreni, M., Rondinini, G., 2003. Microbiological Characterization of Artisanal Montasio Cheese, Analysis of its Indigenous Lactic Acid Bacteria. *FEMS Microbiology Letters*, 229, 133-140.
- [46] Uysal, Ş., 2008. Dil Peyniri Üretiminde Doğal Termofilik Peyniraltı Suyu (PAS) Kültürünün Kullanım Olanasının Araştırılması, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 91s, Şanlıurfa.
- [47] Gökovalı, T., 1980. Salamuralı Tulum Peynirinin Olgunlaşması Sırasında Meydana Gelen Mikrobiyolojik Değişiklikler Üzerinde Araştırma. *İhtisas Tezi*, 75s, İzmir.
- [48] Ferrazza, R. E., Fresno, J. M., Ribeiro, J. I., Tornadijo, M. E., Mansur Furtado, M., 2004. Changes in the Microbial Flora of Zamorano Cheese (P.D.O.) by Accelerated Ripening Process. *Food Research International*, 37, 149-155.
- [49] Anonim, 2016. TS 3002 No' lu Dil Peyniri Standardı. *Türk Standartları Enstitüsü*, 9s., Ankara.
- [50] Albenzio, M., Corbo, M. R., Rehman, S. U., Fox, P. F., De Angelis, M., Corsetti, A., Sevi, A., Gobbetti, M., 2001. Microbiological and Biochemical Characteristics of Canestrato Pugliese Cheese Made from Raw Milk, Pasteurized Milk or by Heatig Curd in Hot Whey. *International Journal of Food Microbiology*, 67, 35-48.
- [51] Cabezas, L., Sánchez, I., Poveda, J. M., Seseña, S., Palop, M. L., 2007. Comparison of Microflora, Chemical and Sensory Characteristics of Artisanal Manchego Cheeses from Two Dairies. *Food Control*, 18, 11-17.
- [52] Tham, W. A., Hajdu, L. J., Danielsson-Tham, M. L. V., 1990. Bacteriological Quality of on-farm Manufactured Goat Cheese. *Epidemiology & Infection*, 104, 87-100.
- [53] Zárata, V., Belda, F., Pérez, C., Cardell, E., 1997. Changes in the Microbial Flora of Tenerife Goats' Milk Cheese During Ripening. *International Dairy Journal*, 7, 635-641.
- [54] Çelik, Ş., Özdemir, C., Özdemir, S., 2001. Production Techniques and Some Properties of Traditional Lavas cheese. *Journal of Biological Sciences*, 1 (7), 603-605.
- [55] Manolopoulou, E. Sarantinopoulos, P., Zoiidou, E., Aktypis, A. Moschopoulou, E., Kandarakis, I. G., Anifantakis E. M., 2003. Evolution of Microbial Populations During Traditional Feta Cheese Manufacture and Ripening. *International Journal of Food Microbiology*, 82(2), 153-161.
- [56] Aran, N., Eke, D., Alperden, İ., 1986. Yarı Sert Karakterdeki Türk Peynirlerinde Küf Florası. *Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 4(2), 1-10.
- [57] Anonim, 2015. Türk Gıda Kodeksi Peynir Tebliği (Tebliğ No: 2015/6). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/02/20150208-16.htm> (Erişim Tarihi: 03.01.2020).
- [58] Anonim, 2009. Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği (Tebliğ No: 2009/25). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/02/20090216-8.htm> (Erişim Tarihi: 30.08.2020).

D-Limonen ve Nanoselüloz İçeren Aktif Kitosan/Polikaprolakton İki Katmanlı Filmler

Ece SÖĞÜT*¹, Atıf Can SEYDİM²

^{1,2} Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 29.10.2020, Kabul / Accepted: 15.11.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Kitosan,
Polikaprolakton,
D-limonen,
Nanoselüloz,
Aktif iki katmanlı film

Özet: Bu çalışmanın amacı, polikaprolaktonun (PCL), kitosan (CH) film üzerine kaplandığında, PCL ikinci katmanının filmlerin fiziksel, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri üzerine etkisini değerlendirmektir. D-limonen (%5, w/w) ve nanoselüloz (N) (%2, w/w), CH film çözeltilerine ilave edilmiş ve daha sonra gıda ambalajlama uygulamaları için PCL ile kaplanarak aktif çift katmanlı filmler elde edilmiştir. Film örnekleri optik analiz, geçirgenlik testleri, antioksidan ve antimikrobiyal aktivite testleri ile karakterize edilmiştir. CH üzerindeki PCL katmanı filmlerin su buharı geçirgenliğini geliştirirken, çift katmanlı filmler daha opak olarak gözlenmiştir. CH filmlere D-limonen ilave edilmesi, film örneklerinin su buharı ve ışık geçirgenlik değerlerinde azalışa neden olmuştur ancak bu azalış iki katmanlı filmlerde gözlenen azalış kadar yüksek değildir. D-limonen içeren film örnekleri hem antioksidan kapasite hem de seçilen bakterilere karşı antimikrobiyal aktivite göstermiştir.

Active Chitosan/Polycaprolactone Bilayer Films Including D-Limonene and Nanocellulose

Keywords

Chitosan,
Polycaprolactone,
D-limonene,
Nanocellulose,
Active bilayer film

Abstract: The objective of this study was to evaluate the effect of polycaprolactone (PCL) on the physical and active properties of films when coated on chitosan (CH) film. D-limonene (5%, w/w) and nanocellulose (N) (2%, w/w) were added to CH film solutions, and then coated with PCL to develop active bilayer-films for food packaging applications. Film samples were characterized by permeability tests, optical analysis, antioxidant and antimicrobial activity tests. PCL layer on CH improved the permeability while bilayer films were observed as more opaque. The addition of D-limonene into CH films caused a decrease in the water vapor permeability and light transmittance values of the film samples, however, this decrease was not high those observed in bilayer films. Film samples including D-limonene showed both antioxidant capacity and antimicrobial activity against selected bacteria.

1. Giriş

Son zamanlarda, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyo-bazlı polimerlerin, petrol bazlı plastiklere alternatif olarak kullanılma potansiyeli üzerine yapılan çalışmalar artış göstermektedir [1,2]. Özellikle doğal antimikrobiyal/antioksidan bileşenlerle zenginleştirilmiş polisakkaritler, proteinler ve lipitler gibi aktif biyo-bazlı polimerler, son yıllarda gıda ambalaj sektöründe büyük ilgi görmektedir [3]. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyo-bazlı polimerler arasında kitosanın (CH) iyi film oluşturma özellikleri, stabilite, esneklik, biyoyuymululuk, biyobozunurluk ve ticari kullanılabilirlik sergilediği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir [4,5]. CH, yengeç ve karides gibi kabukluların dış iskeletinin

ana bileşeni olan kitinin deasetilasyonu sonucu bir deniz ürününün yan ürünü olarak ticari şekilde elde edilebilen lineer bir polisakkarittir. Katyonik karakteri ile bağlantılı olarak, çeşitli çalışmalar CH'nin mayalar, küfler, Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere karşı geniş inhibisyon spektrumu gösterdiğini belirtmiştir [6-8]. Ancak CH filmlerin bariyer, mekanik ve ısıl stabilite gibi özelliklerinin petrol bazlı plastiklerle karşılaştırıldığında zayıf olmasından dolayı kullanımı sınırlıdır [9]. CH bazlı filmlerin özelliklerini geliştirmek için diğer biyo-bazlı polimerlerle harmanlama [10], nanodolgu maddesi ilave etme [11], kimyasal ve enzimatik çapraz bağlama gibi çeşitli yöntemler önerilmiştir [12]. Bu alanda, nanokompozitler özellikle ilgi çekicidir, çünkü nano boyutlu dolgu maddelerinin yüksek

*İlgili yazar: ececagdas@sdu.edu.tr

matris/dolgu ara yüz alanı nedeniyle biyo-bazlı polimerlerin bariyer ve mekanik özelliklerini geliştirmede etkili olduğu kanıtlanmıştır [13]. Nanodolgu malzemeleri arasında, nanoselüloz (N) partikülleri, selüloz ve CH arasındaki benzerlik nedeniyle CH'nin özelliklerini geliştirme potansiyeline sahip malzemeler arasında gösterilmektedir [14,15]. Nanokompozitler, antioksidanlar ve antimikrobiyaller gibi bazı aktif bileşiklerin taşıyıcıları olarak da kullanılmaktadır [16,17]. CH filmlerin bariyer ve mekanik özellikleri, kullanılan polimerlerin avantajlarını birleştirmek ve dezavantajlarını en aza indirmek için diğer polimerlerle lamine edilerek de geliştirilebilir [18,19]. Laminasyon, farklı filmlerin özelliklerini tek bir tabakada birleştirerek polimerik filmlerin performansını artırmanın bir diğer yoludur [20]. Genel olarak, dış katmanlar nem direnci ve mekanik stabilite sağlarken, iç katman bir gaz bariyeri görevi görür [12] veya aktif bileşen taşıyıcısı olarak kullanılır [21]. CH bazlı iki katmanlı filmlerin bariyer ve mekanik özelliklerinin CH tek katmanlı filmler ile karşılaştırıldığında geliştirildiğini gösteren çalışmalar mevcuttur [10,20,22]. Polikaprolakton (PCL), CH filmlerin özelliklerini geliştirmek için üst katman olarak kullanılabilir biyobozunur özellikte sentetik polimerdir. PCL, kaprolakton monomerinin halka açılımı polimerizasyonu yoluyla ham petrolden kimyasal sentezle üretilen termoplastik alifatik bir polyesterdir [23]. Yapılan çalışmalarda, CH ve PCL bazlı harman ve/veya katmanlı filmlerin, mekanik dayanım ve bariyer özelliklerinin iyileştirildiği belirtilmiştir [24,25].

Gıda kalitesi ve güvenliğiyle ilgili artan endişeler nedeniyle, gıda raf ömrünü uzatmak için özellikle antioksidan ve antimikrobiyal ambalaj uygulamaları gibi aktif ambalaj geliştirmeye olan ilgi artmıştır [26,27]. Bu alanda en çok kullanılan aktif bileşenler arasında güçlü biyolojik aktiviteye sahip uçucu yağlar bulunmaktadır. Turunçgil endüstrisinin en önemli kalıntılarından olan ve portakal kabuğu yağının yaklaşık %90'ını oluşturan D-limonen (DL), aktif özelliklere sahip bir siklik terpendir [28]. DL'nin antimikrobiyal aktivitesinin *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica* gibi farklı patojenlere karşı denendiği çalışmalar mevcuttur [29,30]. Ancak DL'nin çok çabuk oksidasyona uğraması ve kolaylıkla ambalajlanmış gıdaya salınarak gıdayı kontamine etmesi gibi bazı problemler meydana gelmektedir [31]. Bu problemlerin üstesinden gelebilmek için DL'nin ortama salımını yavaşlatacak nanoselüloz gibi bir taşıyıcı ile biyo-bazlı polimerik yapıya ilave edilmesi ve aroma bileşeni olarak ambalaj malzemesi boyunca difüzyonunu kontrol altına almak için katmanlı ambalaj malzemelerinde kullanımı gerçekleştirilebilir. Bu nedenle bu çalışmanın amacı, CH'nin işlevselliğini ve fiziko-mekanik özelliklerini geliştirme potansiyeline sahip, DL ve N ile

birleştirilmiş CH ve PCL bazlı aktif çift katmanlı filmler elde etmektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Kitosan (CH), (ChitoClear® CG1600, molekül ağırlığı >320 kDa, 1600 cP, >75% deasetillenmiş) Primex EHF'den (ChitoClear®, Siglufjordur, İzlanda) ve polikaprolakton (PCL, CAPA 6800) Perstorp Holding AB (İsveç)'den temin edilmiştir. Nanoselüloz (N) (%80 kristallenme derecesinde, kristal çapı 9-14 nm ve kristal uzunluğu maksimum 100 nm), %8 (w/w) süspansiyon halinde Blue Goose Biorefineries Inc. (BGB ULTRA™, Kanada) firmasından alınmıştır. D-limonen (DL), Kimbiotek A.Ş. (Ankara, Türkiye)'den temin edilmiştir. Tüm kimyasallar analitik saflıkta ve Nutrient broth ile Nutrient agar ise mikrobiyolojik saflıkta olup sırasıyla Sigma-Aldrich (St. Louis, Missouri, ABD) ve Merck (Darmstadt, Almanya)'den temin edilmiştir.

2.2. Film örneklerinin hazırlanması

CH film örnekleri dökme yöntemi kullanılarak üretilmiştir. CH (%1,5) (w/w), %1 asetik asit çözeltisi (w/w) kullanılarak 25°C'de çözündürülmüş ve daha sonra plastifiyan olarak %0,25 (w/w, film çözeltisi bazında) oranında gliserol ilave edilmiştir. Elde edilen film çözeltisine %2 oranında N ve %5 oranında DL eklenerek homojenizatör (DAIHAN HG-15A, Korea) yardımıyla homojen (10000 rpm/5 dak) hale getirilmiştir. Vakum altında film çözeltisindeki gaz kabarcıkları uzaklaştırıldıktan sonra 50 g film çözeltisi teflon kaplı petrilere (Ø=150 mm) dökülmüş ve oda sıcaklığında 48 sa boyunca kurutulmuştur. Kuruyan filmler petrilere alındıktan sonra ikinci katman ile kaplama işlemine geçilmiştir. Kaplama film çözeltisi, PCL'in (%5, w/w) kloroformda çözündürülmesiyle elde edilmiştir. Elde edilen PCL film çözeltisi kuruyan CH film örneklerinin üzerine dökülmüş ve kalınlığı 200 µm, (spiral bar coater, Elcometer 4360/30, Manchester, İngiltere) olan kaplama çubuğu ile homojen şekilde kaplanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. İki katmanlı filmlerin kalınlıkları CH film üzerine dökülen PCL film çözeltisi miktarı ayarlanarak kontrol altında tutulmuştur. Tüm film örnekleri analiz edilmeden önce 25°C ve %53 bağıl nem (RH) altında 1 hafta boyunca koşullandırılmıştır. Koşullandırılan örneklerin kalınlık değerleri dijital mikrometre (Digimatic Micrometer Quantu-Mike IP65, Mitutoyo, Japonya) yardımıyla en az 6 farklı bölgeden rastgele ölçüm alınarak belirlenmiştir. Film örneklerine ait kodlamalar Tablo 1'de verildiği gibidir.

Tablo 1. Film örneklerine ait kodlamalar

Film kodu	Açıklama
CH	CH film (negatif kontrol)
CHN	%2 oranında N içeren CH film (pozitif kontrol)
CHN-DL	%2 oranında N ve %5 oranında DL içeren CH film
CHN/PCL	%2 oranında N içeren iki katmanlı CH film
CHN-DL/PCL	%2 oranında N ve %5 oranında DL içeren iki katmanlı CH film

2.3. Filmlerin su buharı geçirgenliğinin belirlenmesi

Film örneklerinin su buharı geçirgenlik değerleri (WVP), ASTM E96-95 [32] standart yöntemi ile belirlenmiştir. Geçirgenlik kapları kullanılarak, elde edilen filmlerin CH katmanı %100 RH'ya ve üst katman %53 RH'ya maruz bırakılmıştır. Filmlerin geçirgenlik değerleri, geçirgenlik kaplarının 25°C'de 48 sa boyunca her 90 dak periyodik olarak tartılması ile belirlenmiştir. Her bir örneğin geçirgenlik hızı lineer regresyon kullanılarak hesaplanmıştır.

2.4. Filmlerin optik özelliklerinin belirlenmesi

Filmlerin opaklık değerleri Friesen ve ark. [33] tarafından uygulanan yöntem kullanılarak UV-Vis spektrofotometre (Shimadzu, UV-1601, Tokyo, Japonya) ile belirlenmiştir. 1 x 4 cm boyutlarında kesilen film örneklerinin opaklık değerleri, 400-800 nm dalga boyları arasında elde edilen absorpsiyon spektrum alanlarının filmlerin kalınlıklarına bölünmesiyle hesaplanmıştır (AU nm/mm). Filmlerin ışık geçirgenliği değerleri (T, %), UV-vis-spektrofotometre (Shimadzu, UV-1601, Tokyo, Japonya) ile 450 nm'deki geçirgenlik yüzdesi hesaplanarak ölçülmüştür. Film örneklerinin renk değerleri ise, beyaz standart kalibrasyon plakası (Y=92,7; x=0,3160; y=0,3321) kullanılarak Minolta renk ölçüm cihazı (CR-400, Konica Minolta, Inc., Japan) ile belirlenmiştir. Sonuçlar, CIE L* (parlaklık), a* (kırmızı-yeşil) ve b* (sarı-mavi) şeklinde verilmiştir.

2.5. Filmlerin antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi

Film örneklerinin potansiyel antioksidan aktivitesi, kararlı radikal 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) kullanılarak radikal süpürme aktivitesi şeklinde belirlenmiştir [34]. Film örnekleri bir hafta boyunca çözücü sistem olarak etanol ve su karışımına (50/50, v/v) maruz bırakılmıştır. Siklik yapıdaki terpenlerden olan DL, suya göre etanolde daha fazla çözünür ve etanol konsantrasyonundaki artış, DL'nin çözünürlüğünü artıracaktır. Ön çalışmalarımızda, etanol konsantrasyonundaki artışın film örneklerinin etanolde hidrate olmasını sınırlandırdığı ve polimer ağının zayıflatıcı etkisi nedeniyle, film matrisinden DL difüzyonunun zorlaştığı görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada, film örneklerinin potansiyel en yüksek antioksidan aktivitesini bulmak için, maksimum DL

miktarını elde etmede çözücü olarak %50 etanol konsantrasyonu seçilmiştir. Alınan örnekler 0,1 mM konsantrasyondaki DPPH çözeltisi ile muamele edildikten sonra 40 dak boyunca oda sıcaklığında ve karanlıkta inkübe edilmiş, ardından spektrofotometre (Shimadzu, UV-1601, Tokyo, Japonya) yardımıyla örneklerin 517 nm dalga boyundaki absorbans değerleri okunmuştur. Örneklerin antioksidan aktiviteleri, 0,1 mM DPPH çözeltisinin indirgenme yüzdesi olarak ifade edilmiştir.

2.6. Filmlerin antimikrobiyal aktivitelerinin belirlenmesi

Film örneklerinin antimikrobiyal etkileri, zon inhibisyon yöntemi kullanılarak *Escherichia coli* (ATCC 26922), *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) ve *Pseudomonas aeruginosa*'ya (ATCC 27853) karşı test edilmiştir. Bu mikroorganizmalar, gıda bozulmasından sorumlu olan ana bakterilerden bazılarıdır. Nutrient broth sıvı besiyeri kullanılarak 37°C'de 18 sa boyunca inkübe edilerek geliştirilen saf kültür örnekleri, 6-8 log koloni oluşturan birim (kob)/mL konsantrasyonda olacak şekilde Nutrient agar besiyeri bulunan petrilere aktarılmıştır. UV-C ışık altında 15 dak boyunca steril edilen film örnekleri (Ø = 15 mm) bakteri suşları ile aşılınmış Petri kaplarına yerleştirilmiştir. Petriler 24 sa 37 ° C'de inkübe edilmiş ve petrilerdeki mikrobiyal gelişim, film örneklerinin etrafındaki berrak zon (mm) açısından incelenmiştir.

2.7. İstatistiksel analiz

İstatistiksel analiz SPSS 17 (SPSS Inc. Chicago, IL, ABD) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her deney, her film için en az üç gözlemle üç kez tekrarlanmıştır. Örnekler arasındaki önemli farklılıklar %95 güven aralığında Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir.

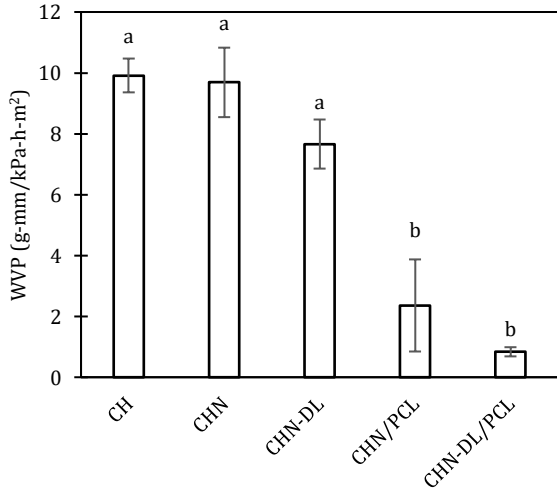
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Film örneklerinin su buharı geçirgenlik değerleri

Ambalaj malzemelerinin su buharı geçirgenlik özellikleri gıdanın raf ömrü ile ilişkili olan organoleptik özelliklerinin korunmasında anahtar parametrelerden biridir ve nem transferinin etkin bir şekilde kontrol edilebilmesi için belirlenmesi gerekmektedir. Gıdadan ambalaj atmosferine veya dışarıdan gıdaya nem transferini azaltmak veya ortadan kaldırmak için, ambalaj malzemesinin WVP değerlerinin mümkün olduğunca az olması beklenir [35]. Film örneklerine ait su buharı geçirgenlik değerleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada en düşük WVP değerleri iki katmanlı filmlerde gözlemlenirken (p<0,05), DL ve N ilavesinin

filmlerin WVP değerlerinde azalışa neden olsa da istatistiksel olarak önemli ölçüde değişikliğe neden olmadığı belirlenmiştir. Yapılan bazı çalışmalar hidrofilik filmler için, artan kalınlığın filmin iç yüzündeki kısmi su buharı basıncını artırarak kütle transferi için sürükleyici kuvvet oluşturması nedeniyle, film kalınlıkları ile WVP değerleri arasında pozitif korelasyon olduğunu göstermiştir [36]. Ancak elde edilen sonuçlara göre CHN ve CHN-DL filmler, CH filmine göre daha kalın olmasına rağmen daha düşük WVP değerleri göstermiştir. Bu durum, CH film yapısına ilave edilen bileşiklerin polimer matrisi ile etkileşim göstererek, su ile etkileşim verebilecek hidrofilik grupların sayısını azaltması ve sonuç olarak su buharı geçirgenliğini düşürmesi ile açıklanabilir [13]. DL'nin nispeten daha hidrofobik yapıda olması, CH filmlerin daha yüksek bir nem bariyeri ve su direnci göstermesine neden olabilir. Bu nedenle, DL içeren filmler, daha düşük WVP değerleri göstermiştir ($p>0,05$) ve bu durum DL'nin eklenmesinin, CH matrisindeki su transferi için suyun transfer uzunluğunda bir artışa neden olmasından da kaynaklanıyor olabilir. Bunun yanı sıra, iki katmanlı filmlerde PCL'in kullanımı ile CH filmlerin WVP değerleri yaklaşık %80 oranında azaltılmıştır. Bu durum PCL'in hidrofobik yapısı ve bu nedenle su buharı geçişini yavaşlatması ile açıklanabilir. Elde edilen sonuçlar Söğüt ve Seydim [11] ve Salgado ve ark. [37] tarafından CH/sikloolefin kopolimer ve soya proteini izolatu/polihidroksi bütirat bazlı iki katmanlı filmler için elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.



Şekil 1. Filmlerin su buharı geçirgenlik değerleri
a-b Farklı harfler, örnekler arasında önemli farklılıkları gösterir ($p < 0,05$)

3.2. Film örneklerin optik özellikleri

Film örneklerinin kalınlık, ışık geçirgenliği (T, %), opaklık ve renk değerleri sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te verildiği gösterilmiştir.

Tablo 2. Film örneklerinin kalınlık, ışık geçirgenliği ve opaklık değerleri

Film	Kalınlık (μm)	T (%)	Opaklık (AU $\text{nm}/\mu\text{m}$)
CH	36,0 \pm 1,4 ^b	69,1 \pm 5,7 ^{ab}	0,8 \pm 0,1 ^b
CHN	36,1 \pm 4,2 ^b	70,7 \pm 0,4 ^a	1,2 \pm 0,1 ^b
CHN-DL	39,5 \pm 0,7 ^{ab}	49,3 \pm 4,6 ^c	3,8 \pm 1,6 ^a
CHN/PCL	48,0 \pm 1,4 ^a	55,7 \pm 2,5 ^{bc}	2,2 \pm 0,2 ^a
CHN-DL/PCL	49,8 \pm 2,8 ^a	34,2 \pm 2,7 ^d	3,9 \pm 1,0 ^a

a-c Aynı sütundaki farklı harfler, örnekler arasında önemli farklılıkları gösterir ($p < 0,05$)

CH, CHN ve CHN-DL film örnekleri kalınlıklarını kontrol edebilmek amacıyla, aynı miktardaki film oluşturma çözeltisinin petrilere dökülmesiyle elde edilmiştir. Ancak, DL ilavesi filmlerin kalınlığında artışa neden olmuş ve ikinci bir katmanın sonradan oluşturulması nedeniyle en yüksek kalınlık değerleri iki katmanlı filmlerde gözlenmiştir ($p < 0,05$). Bunun yanı sıra, filmlere N ilave edilmesi filmlerin kalınlıkları üzerine etkili olmamıştır. Bunun sebebi, CH matrisi ile N arasındaki güçlü etkileşim olabilir [38]. Benzer şekilde, Haghghi ve ark. [3] CH ve jelatin bazlı iki katmanlı filmlerin kalınlıklarında artış gözlemlerken, etil lauroil arjinat ilavesinin kalınlık üzerine etkili olmadığını belirtmişlerdir.

Gıda ürünlerinin ışığın zararlı etkilerinden korunabilmesi ve tüketici kabul edilebilirliğinin artırılması açısından kullanılan ambalaj materyalinin ışık geçirgenlik özellikleri önemlidir. Özellikle UV ışık ile artış gösteren oksidasyonun azaltılması için UV-bloke edici filmler önem kazanmaktadır [39]. CH ve CHN film örnekleri en yüksek T (%) değerleri gösterirken, filmlere DL ilavesi ve ikinci katman uygulaması ışık geçirgenlik değerlerinin azalmasına neden olmuştur ($p < 0,05$). En yüksek ışık geçirgenliği değerleri CHN film örneğinde belirlenmiştir. Bu durum N ile CH arasındaki etkileşimin iyi olduğunu ve ara yüz fazında daha az ışık serpinmesi/yansıması yaşandığını göstermektedir [40]. Benzer şekilde en yüksek opaklık, CHN-DL ve CHN-DL/PCL film örneklerinde gözlenmiştir. Bu durum, bir fenolik bileşen olan DL'nin daha fazla ışık absorbe edebilir özellikte olmasından kaynaklanabilir [41]. İki katmanlı filmlerde gözlenen opaklık artışının bir diğer nedeni de ara yüzde oluşan boşluklar olabilir [37]. Sonuç olarak, CH filmlere DL ilave edilmesi, DL'nin CH matrisi ile daha az etkileşime girerek CH filmlerin daha kalın olmasına ve dolayısıyla opaklık değerleri daha yüksek ve ışık geçirgenlik değerleri daha düşük filmler oluşmasına neden olmuş olabilir.

Tablo 3. Film örneklerinin renk değerleri

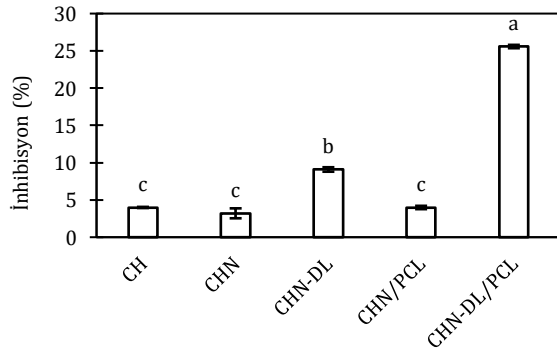
Film	L^*	a^*	b^*
CH	94,7 \pm 0,2 ^a	-1,2 \pm 0,5 ^a	5,8 \pm 0,1 ^b
CHN	94,4 \pm 0,5 ^a	-0,2 \pm 0,1 ^a	6,5 \pm 0,5 ^b
CHN-DL	94,7 \pm 0,2 ^a	-0,5 \pm 0,1 ^a	7,4 \pm 0,6 ^{ab}
CHN/PCL	94,6 \pm 0,2 ^a	-0,2 \pm 0,1 ^a	5,8 \pm 0,1 ^b
CHN-DL/PCL	94,3 \pm 0,3 ^a	-0,7 \pm 0,1 ^a	8,8 \pm 0,5 ^a

a-b Aynı sütundaki farklı harfler, örnekler arasında önemli farklılıkları gösterir ($p < 0,05$)

Film örneklerinin parlaklık ve a^* değerleri arasında önemli farklılıklar gözlenmezken, DL ilavesinin b^* değerlerinde artışa neden olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Benzer şekilde Nilsuwan ve ark. [12] epigallokateşin ilave edilen polilaktik asit ve jelatin bazlı iki katmanlı filmlerin parlaklık değerlerinin önemli ölçüde değişmediğini, a^* ve b^* değerlerinin arttığını belirtmişlerdir.

3.3. Film örneklerin antioksidan aktiviteleri

Film örneklerine ait DPPH radikal süpürücü aktivite değerleri Şekil 2’de gösterilmiştir. CH filmlere DL ilave edilmesi CH filmlerin antioksidan aktivitesini geliştirmiş ve en yüksek antioksidan aktivite değerleri CHN-DL/PCL iki katmanlı filmlerde gözlenmiştir ($p<0,05$). CH, CHN ve CHN/PCL filmleri fenolik bileşen içermemesine rağmen %3,21-3,98 aralığında antioksidan aktivite göstermiştir. Bu filmlerde gözlenen antioksidan aktivite, CH’da bulunan serbest NH_2 grupları ile serbest radikallerin stabil makromolekül radikaller oluşturmak için reaksiyona girmesi ile açıklanabilir [42]. DL içeren iki katmanlı filmlerin, PCL katmanının DL salımını azaltarak daha düşük antioksidan aktivite değerleri göstermesi beklenirken, en yüksek antioksidan aktivite değerini göstermiştir. Bu durum, ikinci katmanın çözücü şeklinde uygulanması ve bu nedenle çözücünün CH matrisine taşınmasıyla katmanlar arasındaki yapıya zarar vermesi sonucu DL’nin daha hızlı salım göstermesi ile açıklanabilir [11].



Şekil 2. Film örneklerine ait DPPH radikal süpürücü aktivite değerleri
^{a-c} Farklı harfler, örnekler arasında önemli farklılıkları gösterir ($p < 0,05$)

3.4. Film örneklerinin antimikrobiyal aktiviteleri

Seçilen bakterilere karşı film örneklerinin gösterdiği antimikrobiyal aktivite değerleri inhibisyon zonları (cm) şeklinde Tablo 4’te verilmiştir.

Filmlerin antimikrobiyal etkileri disk difüzyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. CH doğal antimikrobiyal polimerlerden olmasına rağmen DL içermeyen film örnekleri test edilen

mikroorganizmalara karşı inhibe edici etki göstermemiştir. Bu durum, inhibe edici etki gösteren CH bileşenlerinin katı besiyeri ortamında difüze olamaması ve ortama salım kabiliyetlerinin olmamasından kaynaklanmaktadır [6]. CH filmlere DL ilave edilmesi ile, *E. coli*’ye karşı CHN-DL/PCL hariç, test edilen tüm mikroorganizma gelişimleri etkin bir şekilde inhibe edilmiştir. D-limonenin antimikrobiyal etkisi, mikroorganizmanın hücre bütünlüğü ve duvar yapısını zarara uğratması, iletkenlikteki artışa bağlı olarak membran geçirgenliğini değiştirmesi ve hücre içi biyomakromoleküllerin hücre dışına sızması şeklinde kendini göstermektedir [43]. İki katmanlı filmlere ait zon çapları ile tek katmanlı filmlere ait inhibisyon değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunamamıştır. Benzer şekilde, Haghighi ve ark. [3] etil lauril arjinat içeren CH ve jelatin bazlı iki katmanlı filmler ile tek katmanlı filmlerin antimikrobiyal aktiviteleri arasında önemli farklılıklar gözlemlenmemişlerdir.

4. Sonuç

Bu çalışmada CH ve PCL bazlı iki katmanlı filmler geliştirilmiş ve bu filmlerin bazı fiziksel özellikleri tek katmanlı filmler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, antioksidan ve antimikrobiyal aktivitelerini değerlendirmek için bu filmlere N ve DL eklenmiştir. İki katmanlı filmler su buharına karşı etkili bir bariyer özellik göstermiştir ve filmlerin opaklık değerlerinde artışa neden olurken ışık geçirgenliği değerlerinde azalmaya neden olduğu gözlenmiştir. DL’nin filmlere ilave edilmesi filmlerin kalınlığını ve su buharı geçirgenliğini etkilememiş, ancak filmlerin ışık geçirgenliğini, opaklık değerlerini ve b^* değerlerini önemli ölçüde etkilemiştir. DL ile zenginleştirilmiş aktif filmler, antioksidan aktivite ve seçilen bakterilere karşı ve antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, N ve DL ile zenginleştirilmiş CH ve PCL bazlı iki katmanlı filmlerin, gıda güvenliğini sağlamak ve gıdaların raf ömrünü uzatmak için ek bir biyoaktif fonksiyona sahip yenilenebilir ambalajların geliştirilmesinde potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, iki katmanlı filmlerin gerçek gıda uygulamalarında aktivitelerinin değerlendirilerek endüstriyel ölçekte optimum uygulamalarını araştırmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu çalışma ile hazırlanan iki katmanlı filmler; DL içeren CH katmanının gıda ile temas halinde olup içerdiği NC ile kontrollü bir şekilde ortamda aktif özellikler sağlayan iç katman ve ikinci katman olan PCL’in hem su buharı bariyeri hem de ışık bariyeri sağlayan dış katman şeklinde kullanıldığı çok katmanlı biyobozunur gıda ambalaj malzemesi olma potansiyeline sahiptir.

Tablo 4. Zon (cm) inhibisyon değerleri*

Film	<i>E. coli</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>
CH	-	-	-	-
CHN	-	-	-	-
CHN-DL	2,1±0,1	2,0±0,4	1,7±0,1	1,9±0,1
CHN/PCL	-	-	-	-
CHN-DL/PCL	-	1,9±0,3	1,8±0,2	1,7±0,1

* Film çevresinde inhibisyon zonuna (film etrafındaki berrak alan) sahip film numuneleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılık bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Abdelhedi, O., Nasri, R., Jridi, M., Kchaou, H., Nasreddine, B., Karbowiak, T., Debeaufort, F., Nasri, M. 2018. Composite bioactive films based on smooth-hound viscera proteins and gelatin: Physicochemical characterization and antioxidant properties. *Food Hydrocolloids*, 74, 176–186.
- [2] Jridi, M., Abdelhedi, O., Zouari, N., Fakhfakh, N., Nasri, M. 2019. Development and characterization of grey triggerfish gelatin/agar bilayer and blend films containing vine leaves bioactive compounds. *Food Hydrocolloids*, 89, 370–378.
- [3] Haghghi, H., De Leo, R., Bedin, E., Pfeifer, F., Siesler, H. W., Pulvirenti, A. 2019. Comparative analysis of blend and bilayer films based on chitosan and gelatin enriched with LAE (lauroyl arginate ethyl) with antimicrobial activity for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 31–39.
- [4] Cardoso, G. P., Dutra, M. P., Fontes, P. R., Ramos, A. de L.S., de Miranda Gomide, L. A., Ramos, E. M. 2016. Selection of a chitosan gelatin-based edible coating for color preservation of beef in retail display. *Meat Science*, 114, 85–94.
- [5] Qiao, C., Ma, X., Zhang, J., Yao, J. 2017. Molecular interactions in gelatin/chitosan composite films. *Food Chemistry*, 235, 45–50.
- [6] Leceta, I., Guerrero, P., De La Caba, K. 2013. Functional properties of chitosan-based films, In *Carbohydrate Polymers*, 1(1), 339–346.
- [7] Elsabee, M. Z., Abdou, E. S. 2013. Chitosan based edible films and coatings: A review. *Materials Science and Engineering C*, 33(4), 1819–1841.
- [8] Bellich, B., D'Agostino, I., Semeraro, S., Gamini, A., Cesàro, A. 2016. "The good, the bad and the ugly" of chitosans. *Marine Drugs*, 14(5), 99.
- [9] Ahmed, J., Mulla M., Arfat, Y. A. 2017. Mechanical, thermal, structural and barrier properties of crab shell chitosan/graphene oxide composite films. *Food Hydrocolloids*, 71, 141–148.
- [10] Valencia-Sullca, C., Vargas, M., Atarés, L., Chiralt, A. 2018. Thermoplastic cassava starch-chitosan bilayer films containing essential oils. *Food Hydrocolloids*, 75, 107–115.
- [11] Sögüt, E., Seydim, A.C. 2018. Characterization of cyclic olefin copolymer-coated chitosan bilayer films containing nanocellulose and grape seed extract. *Packaging Technology and Science*, 31(7), 499–508.
- [12] Nilswan, K., Guerrero, P., de la Caba, K., Benjakul, S., Prodpran, T. 2020. Properties and application of bilayer films based on poly (lactic acid) and fish gelatin containing epigallocatechin gallate fabricated by thermo-compression molding. *Food Hydrocolloids*, 105, 105792.
- [13] Khan, A., Khan, R. A., Salmieri, S., Le Tien, C., Riedl, B., Bouchard, J., Chauve, G., Tan, V., Kamal, M.R., Lacroix, M. 2012. Mechanical and barrier properties of nanocrystalline cellulose reinforced chitosan based nanocomposite films. *Carbohydrate Polymers*, 90(4), 1601–1608.
- [14] Dehnad, D., Mirzaei, H., Emam-Djomeh, Z., Jafari, S. M., Dadashi, S. 2014. Thermal and antimicrobial properties of chitosan-nanocellulose films for extending shelf life of ground meat. *Carbohydrate Polymers*, 109, 148–154.
- [15] Khan, A., Huq, T., Khan, R. A., Riedl, B., Lacroix, M. 2014. Nanocellulose-Based Composites and Bioactive Agents for Food Packaging. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(2), 163–174.
- [16] Andresen, M., Stenstad, P., Møretrø, T., Langsrud, S., Syverud, K., Johansson, L. S., Stenius, P. 2007. Nonleaching antimicrobial films prepared from surface-modified microfibrillated cellulose. *Biomacromolecules*, 8(7), 2149–2155.
- [17] Choi, J. G., Kang, O. H., Lee, Y. S., Oh, Y. C., Chae, H. S., Jang, H. J., Shin, D. W., Kwon, D. Y.,

2009. Antibacterial activity of methyl gallate isolated from galla rhois or carvacrol combined with nalidixic acid against nalidixic acid resistant bacteria. *Molecules*, 14(5), 1773–1780.
- [18] Galus, S., Kadzińska, J. 2015. Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273–283.
- [19] Ramos, M., Valdes, A., Beltran, A., Garrigós, M. C. 2016. Gelatin-based films and coatings for food packaging applications. *Coatings*, 6(4), 41.
- [20] Rivero, S., García M. A., Pinotti, A. 2009. Composite and bi-layer films based on gelatin and chitosan. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 531–539.
- [21] Sogut, E., Seydim, A. C. 2019. The effects of chitosan-and polycaprolactone-based bilayer films incorporated with grape seed extract and nanocellulose on the quality of chicken breast fillets. *LWT*, 101, 799–805.
- [22] Pereda, M., Ponce A. G., Marcovich N. E., Ruseckaite R. A., Martucci, J. F. 2011. Chitosan-gelatin composites and bi-layer films with potential antimicrobial activity. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1372–1381.
- [23] Sharmin, N., Khan, R. A., Salmieri, S., Dussault, D., Lacroix, M. 2012. Fabrication and Characterization of Biodegradable Composite Films Made of Using Poly(caprolactone) Reinforced with Chitosan. *Journal of Polymers and the Environment*, 20(3), 698–705.
- [24] Joseph, C. S., Prashanth, K. V. H., Rastogi, N. K., Indiramma, A. R., Reddy, S. Y., Raghavarao, K. S. M. S. 2011. Optimum Blend of Chitosan and Poly-(ϵ -caprolactone) for Fabrication of Films for Food Packaging Applications. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7), 1179–1185.
- [25] Alix, S., Mahieu, A., Terrie, C., Soulestin, J., Gerault, E., Feuilloley, M. G. J., Gattin, R., Edon, V., Ait-Younes, T., Leblanc, N. 2013. Active pseudo-multilayered films from polycaprolactone and starch based matrix for food-packaging applications. *European Polymer Journal*, 49(6), 1234–1242.
- [26] Gaikwad, K. K., Lee, S. M., Lee, J. S., Lee, Y. S. 2017. Development of antimicrobial polyolefin films containing lauroyl arginate and their use in the packaging of strawberries. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1706–1716.
- [27] Zhu, J.-Y., Tang, C.-H., Yin, S.-W., Yang, X.-Q. 2018. Development and characterization of novel antimicrobial bilayer films based on Polylactic acid (PLA)/Pickering emulsions. *Carbohydrate Polymers*, 181, 727–735.
- [28] Xing, C., Qin, C., Li, X., Zhang, F., Linhardt, R. J., Sun, P., Zhang, A. 2019. Chemical composition and biological activities of essential oil isolated by HS-SPME and UAHF from fruits of bergamot. *LWT*, 104, 38–44.
- [29] Settanni, L., Palazzolo, E., Guarrasi, V., Aleo, A., Mammina, C., Moschetti, G., Germanà, M. A. 2012. Inhibition of foodborne pathogen bacteria by essential oils extracted from citrus fruits cultivated in Sicily. *Food Control*, 26(2), 326–330.
- [30] Froiio, F., Ginot, L., Paolino, D., Lebaz, N., Bentaher, A., Fessi, H., Elaissari, A. 2019. Essential oils-loaded polymer particles: Preparation, characterization and antimicrobial property. *Polymers*, 11(6), 1017.
- [31] Li, P.-H., Chiang, B.-H. 2012. Process optimization and stability of D-limonene-in-water nanoemulsions prepared by ultrasonic emulsification using response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(1), 192–197.
- [32] Anonim, 2016. ASTM, 95AD, Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. *Annual Book of ASTM*, 552, 12.
- [33] Friesen, K., Chang, C., Nickerson, M. 2015. Incorporation of phenolic compounds, rutin and epicatechin, into soy protein isolate films: Mechanical, barrier and cross-linking properties. *Food Chemistry*, 172, 18–23.
- [34] Sánchez-Moreno, C., Larrauri, J. A., Saura-Calixto, F. 1998. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(2), 270–276.
- [35] Cao, N., Yang, X., Fu, Y. 2009. Effects of various plasticizers on mechanical and water vapor barrier properties of gelatin films. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 729–735.
- [36] McHugh, T.H., Avena-Bustillos, R., Krochta, J. M. 1993. Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *Journal of Food Science*, 58(4), 899–903.
- [37] Salgado, P. R., D’Amico, D. A., Seoane, I. T., Iglesias Montes, M., Mauri, A. N., Cyras, V. P. 2021. Improvement of water barrier properties of soybean protein isolate films by poly (3-hydroxybutyrate) thin coating. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(5), 49758.
- [38] Sogut, E., Cakmak, H. 2020. Utilization of carrot (*daucus carota* l.) Fiber as a filler for chitosan based films. *Food Hydrocolloids*, 106, 105861.
- [39] Wu, J., Sun, X., Guo, X., Ge, S., Zhang, Q. 2017. Physicochemical properties, antimicrobial

activity and oil release of fish gelatin films incorporated with cinnamon essential oil. *Aquaculture and Fisheries*, 2(4), 185–192.

- [40] Ahmed, S., Ikram, S. 2016. Chitosan and gelatin based biodegradable packaging films with UV-light protection. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 163, 115–124.
- [41] Kanmani, P., Rhim, J.-W. 2014. Antimicrobial and physical-mechanical properties of agar-based films incorporated with grapefruit seed extract. *Carbohydrate Polymers*, 102, 708–716.
- [42] Yen, M.-T., Yang, J.-H., Mau, J.-L. 2008. Antioxidant properties of chitosan from crab shells. *Carbohydrate Polymers*, 74(4), 840–844.
- [43] Han, Y., Sun, Z., Chen, W. 2020. Antimicrobial susceptibility and antibacterial mechanism of limonene against *Listeria monocytogenes*. *Molecules*, 25(1), 33.

Kızılırmak Havzası'nda Sıcaklık Değerlerinin Trend Analizi

Özlem TERZİ*¹, Ahmet İLKER²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

²Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 18200, Çankırı, Türkiye

(Alınış / Received: 07.02.2020, Kabul / Accepted: 25.08.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Kızılırmak Havzası,
Sıcaklık,
Trend analizi,
Mann-Kendall testi,
Sen'in trend testi

Özet: Sıcaklık, yağış gibi meteorolojik parametrelerin trendini bilmek bu verilerin gelecekte nasıl bir davranış göstereceğini tahmin etmek açısından önemlidir. Bu çalışmada Türkiye'nin ikinci en büyük havzası olan Kızılırmak havzasındaki sekiz il merkezindeki meteoroloji istasyonlarının aylık minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık verilerine trend analizi uygulanmıştır. Trend analizi, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1980-2017 yılları arasındaki 38 yıllık döneme ait veriler kullanılarak Mann-Kendall testi ile gerçekleştirilmiştir. Sen'in trend testi ise değişim miktarını belirlemek için kullanılmıştır. Yapılan trend analizleri sonucunda birçok noktada istatistiksel olarak anlamlı artış trendi olduğu görülmüştür. Ayrıca, havza sınırları içerisinde bulunan sekiz istasyon genelinde minimum, maksimum ve ortalama sıcaklıklarda artış trendi olduğu belirlenmiştir.

Trend Analysis of Temperature Values in Kızılırmak Basin

Keywords

Kızılırmak Basin,
Temperature,
Trend analysis,
Mann-Kendall test,
Sen's trend test

Abstract: Knowing the trends of meteorological parameters such as precipitation, temperature is significant in terms of predicting how these parameters will move in the future. In this study, the trend analysis was applied to monthly minimum, maximum and mean temperature data of meteorological stations located in eight city centers in the Kızılırmak Basin, which is the second biggest basin in Turkey. The trend analysis was carried out with the Mann-Kendall test using the data obtained from the Turkish State Meteorological Service, which belongs to a period of 38 years recorded between 1980-2017 years. Sen's trend test was also held to determine the amount of change. According to the results of trend analysis, it was revealed that there was a statistically significant increase in trends in stations. Furthermore, an increasing trend was designated in minimum, maximum and mean temperatures in the eight meteorological stations located in basin.

1. Giriş

Hidroklimatolojik veriler kullanılarak yapılan çalışmalar, küresel ısınma sebebiyle su kaynaklarının ciddi miktarda etkilendiğini göstermektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin 5. Değerlendirme Raporunda da belirttiği gibi meteorolojik parametrelerden sıcaklık ve yağışta dünyanın farklı bölgelerinde kayda değer değişiklikler olmaktadır. Değerlendirme raporunda, dünya genelinde sıcaklık meydana gelen değişikliklerin %95-100 oranında insan aktivitelerinden kaynaklandığı kesin olarak ifade edilmiştir [1,2].

Hidroklimatolojik verilerin gidışlerini belirlemek bu verilerle yapılacak olan iklim değişikliği vb.

çalışmalarda önem arz etmektedir. Bu amaçla kullanılan yöntemlerden biri trend analizidir. Trend analizi iki ya da daha fazla zamana bağlı değişkenin ilişkilerini matematiksel denklemlerle ifade etmek için geliştirilen veri analiz tekniklerinden birisidir. Trend analizi bağımsız değişkenin bilinen değerini referans alarak bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek amacıyla yapılmaktadır [3].

Hidroklimatolojik zaman serilerinin trend analizinde yaygın olarak kullanılan parametrik testlerin uygun olmama sebepleri doğrusallık ve bağımsızlık gibi kabullere dayanmalarındadır. Bu yüzden, gözlemlerin sıralarını esas alan ve normal dağılım ya da herhangi bir dağılıma uyma şartı gerektirmeyen parametrik olmayan testler geliştirilmiştir. Parametrik olmayan testlerde kayıp değerler, kısıtlı veriler ve

*İlgili yazar: ozlemterzi@isparta.edu.tr

Tablo 1. Meteoroloji istasyonlarına ait bilgiler

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Minimum (°C)	Maksimum (°C)	Ortalama (°C)
17090	Sivas	39,7437	37,002	1294	-15,68	33,86	9,22
17196	Kayseri	38,687	35,5	1094	-14,21	35,41	10,60
17193	Nevşehir	38,6163	34,7025	1260	-10,48	33,55	10,77
17160	Kırşehir	39,1639	34,1561	1007	-10,75	34,47	11,54
17140	Yozgat	38,8205	34,8159	1301	-11,59	31,73	9,29
17135	Kırıkkale	39,8433	33,5181	751	-8,81	35,59	12,50
17080	Çankırı	40,6086	33,6102	755	-9,63	36,56	11,25
17074	Kastamonu	41,371	33,7756	800	-9,96	33,48	9,76

2.2. Trend analizi

Rastgele bir değişkenin değerlerinde zamana bağlı olarak azalma ya da artış olması trend olduğunu göstermektedir. Yağış ve sıcaklık gibi iklim parametreleri değişken olduğu için su miktarlarının zaman içerisindeki trendlerini bilmek yapılacak çalışmalarda önemli olmaktadır. Bununla birlikte hidrolojik verilerin uzun süreli gözlemlerinin ve salınımlarının dikkate alınması da gerekmektedir [3].

Hidroklimatolojik zaman serilerinin trend analizinde lineer regresyon modeli gibi parametrik testler kullanılmaktadır. Ancak klasik parametrik testler normalite, doğrusallık ve bağımsızlık gibi kabullere dayandığından yağış, akış gibi zaman serilerinin analizi için genellikle uygun olmadıklarından parametrik olmayan testler geliştirilmiştir. Bu testler gözlemlerin büyüklüğü yerine sıralarını dikkate alırlar ve herhangi bir dağılıma uyma şartı gerektirmezler. Ayrıca kayıp değerler, kısıtlı veriler ve mevsimsellik gibi problemlerde parametrik olmayan testler kullanılabilir [4]. Bu çalışmada, Kızılırmak Havzası'nda sıcaklık verilerinin trendlerinin araştırılmasında kullanılan trend analizi testleri aşağıda verilmiştir.

2.2.1. Mann-Kendall testi

Akarsu akımı, sıcaklık, yağış ve su kalitesi gibi hidrometeorolojik verilerin zaman serilerindeki eğilimlerin önemini irdelemek için sıklıkla kullanılan Mann-Kendall testi, sıra tabanlı parametrik olmayan istatistik bir testtir. Parametrik olmayan istatistiksel testleri kullanmanın temel nedeni, parametrik istatistiksel testlerle karşılaştırıldığında, parametrik olmayan testlerin, normal olarak dağılmamış veriler ve hidrometeorolojik zaman serilerinde sıkça karşılaşılan sansürlü (kısıtlı) veriler için daha uygun olduğunun düşünülmesidir [12].

Mann-Kendall test istatistiği (1) eşitliğiyle hesaplanır. Bu eşitlikteki (x_j-x_k) değerinin işareti (2) ifadesi ile bulunur.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{Eğer } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{Eğer } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{Eğer } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Asimptotik olarak normal bir dağılıma sahip ve ortalama sıfır olan test istatistiği S 'in varyansı (3) eşitliğiyle hesaplanır. Burada "n" gözlem sayısını göstermektedir.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

Eğer zaman serisinde benzer değerler sözkonusu ise varyans eşitlik (4) ile hesaplanır. Burada "t" zamanı ifade etmektedir.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (4)$$

Mann-Kendall testinin varyansı belirlendikten sonra önemi, standart normal değişken z eşitlik (5) ile hesaplanır ve kritik z değeriyle karşılaştırılarak belirlenir.

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

H_0 hipotezi, seçilen α anlamlılık seviyesinde $|z| \leq z_\alpha$ ise kabul edilir, aksi durumda reddedilir. S değeri pozitif çıktıysa artan trend, negatif çıktıysa azalan bir trend vardır. Bu yöntemde verilerin belirli bir dağılıma uyma zorunluluğu aranmadığı için ve eksik verilerin varlığına izin verdiği için kullanışlıdır [13,14].

2.2.2. Sen'in trend testi

Parametrik olmayan ve Sen (1968) tarafından geliştirilen bu test, doğrusal bir trend varsa birim zamandaki değişim yani gerçek eğim için veri hatalarından veya ekstrem değerlerden etkilenmeyen, eksik değerlerin olduğu kayıtlara uygulanabilir [13]. Burada, j ve k zamanlarındaki veriler x_j ve x_k ($j > k$) ve veri sayısı n olmak üzere,

$$N = n(n - 1)/2 \quad (6)$$

adet ise Q_i parametresi:

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j - k} \quad (i = 1, \dots, N) \quad (7)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Böylece tüm Q_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır. Hesaplanan N adet Q_i değerinin medyanı doğrusal trendin eğimini verir. N sayısı tek olduğunda (8) eşitliği,

$$Q_{medyan} = Q_{(N+1)/2} \quad (8)$$

çift olduğunda ise (9) eşitliği,

$$Q_{medyan} = \frac{|Q_{N/2} + Q_{(N+2)/2}|}{2} \quad (9)$$

kullanılır ve gözlemlerin birim zamandaki değişimi bulunur. Pozitif değer artan yönde, negatif değer ise azalan yönde bir eğilimi gösterir [15,16].

3. Bulgular

Kızılırmak Havzası sınırları içindeki sekiz il merkezinde bulunan meteoroloji istasyonlarına ait minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık verilerine 38 yıllık dönemde (1980-2017) bir trend olup olmadığını belirlemek amacıyla parametrik olmayan Mann-Kendall testi ile trend analizi uygulanmıştır. Sıcaklık verilerinde trend olup olmadığı %95 güven aralığında değerlendirilmiştir. Buna göre Z değeri 1,96'ya eşit ya da büyük ise artan trend olduğu, -1,96'ya eşit ya da küçük ise azalan trend olduğu kabulü yapılmıştır. Z değeri ± 1.96 değerleri arasında ise bir trend olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı olmadığından trend yoktur kabulü yapılmıştır. Sen'in trend testi ise birim zamandaki değişim miktarını belirlemek için kullanılmıştır.

3.1. Minimum sıcaklıkların trend analizi

Minimum sıcaklıkların trend analizi sonuçları incelendiğinde, Ocak, Nisan, Kasım ve Aralık aylarında sekiz meteoroloji istasyonunun hiçbirinde istatistiksel açıdan anlamlı trend gözlenmemiştir. Diğer taraftan Ağustos ve Eylül aylarında, sonbahar döneminde ve yıllıkta bütün meteoroloji istasyonlarında anlamlı bir artış trendi olduğu belirlenmiştir (Ek A). Havza sınırları içerisinde bulunan sekiz il merkezine ait meteoroloji istasyonunun trend analizine göre, Kayseri il merkezi meteoroloji istasyonunun dışındaki yedi istasyonda yaz döneminde artış trendi olduğu tespit edilmiştir. Kış döneminde Kayseri istasyonu dışındaki istasyonlarda trend olmadığı tespit edilmiştir. Ek A'da verilen Sen'in trend testine göre birim zamandaki değişim miktarları incelendiğinde; istatistiksel olarak anlamlı trend gözlenen aylar, dönemler ve yıllıkta

değişim miktarı 0,021 °C/yıl ile 0,144 °C/yıl arasında değişmektedir. En az değişim miktarının 0,021 °C/yıl ile Kastamonu istasyonunun yıllıkta, en çok değişim miktarının ise 0,144 °C/yıl ile Kayseri istasyonunun Ağustos ayında meydana geldiği görülmüştür.

3.2. Maksimum sıcaklıkların trend analizi

Kızılırmak Havzası sınırları içinde bulunan il merkezleri meteoroloji istasyonlarına ait maksimum sıcaklık verilerinin trend analizi sonuçlarına göre sekiz istasyonun tamamında Temmuz ve Ağustos aylarında, ilkbahar ve yaz dönemlerinde %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı artış trendi olduğu belirlenmiştir. Haziran ayında Kastamonu istasyonu haricindeki istasyonlarda anlamlı artış trendi tespit edilmiştir. Ayrıca yıllık olarak da bütün istasyonlarda anlamlı bir artış trendi olduğu Ek B'de görülmektedir. Sonbahar döneminde Kayseri istasyonu hariç diğer istasyonlarda artış trendi olduğu gözlenmiştir. Sivas ve Yozgat istasyonlarında kış döneminde anlamlı artış trendi gözlenirken, diğer istasyonlarda anlamlı trend gözlenmemiştir. Ocak, Nisan, Eylül, Ekim ve Aralık aylarında sekiz istasyonun tamamında istatistiksel olarak anlamlı trend tespit edilmemiştir. Yukarıda belirtilen anlamlı artış trendinin görüldüğü aylar, dönemler ve yıllık dışında sekiz istasyonda Çankırı istasyonu Ocak ayı hariç bütün aylar, dönemler ve yıllıkta artış trendi olduğu, ancak bu trendler istatistiksel olarak anlamlı olmadığından trend olmadığı değerlendirilmesi yapılmıştır. Çankırı istasyonu Ocak ayında ise istatistiksel açıdan anlamsız azalma trendi olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı trendin görüldüğü noktalarda en düşük artış miktarı 0,046 °C/yıl ile Kayseri istasyonunun yıllıkta, en yüksek artış miktarı 0,126 °C/yıl ise Yozgat istasyonunun şubat ayında olduğu tespit edilmiştir.

3.3. Ortalama sıcaklıkların trend analizi

Ortalama sıcaklıkların trend analizi sonuçlarının verildiği Ek C'den de görüldüğü üzere, Ocak, Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında havza sınırları içinde bulunan sekiz istasyonun tamamında istatistiksel olarak anlamlı trend olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca kış döneminde de hiçbir istasyonda anlamlı trend olmadığı gözlenmiştir. İstatistiksel olarak anlamsız olmakla birlikte gözlenen trendler artış trendi şeklindedir. Havza sınırları içinde kalan il merkezlerindeki meteoroloji istasyonlarının ortalama sıcaklık verilerinin trend analizine göre, sekiz istasyonun tamamında Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında, ilkbahar, yaz, sonbahar dönemlerinde 0,05 anlamlılık seviyesine göre anlamlı artış trendi olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte analizi yapılan bütün istasyonlarda yıllık olarak istatistiksel açıdan anlamlı artış trendi olduğu Ek C'den görülmektedir. Yukarıda belirtilen anlamlı ve anlamsız trendlerin dışında kalan noktalara bakıldığında trendlerin büyük

çoğunluğu anlamsız olmakla birlikte artış trendi şeklindedir. Sadece Kırşehir ve Kastamonu istasyonları Ocak ayı, ve Kırıkkale, Çankırı ve Kastamonu istasyonlarında ise Aralık ayı trendleri azalma trendi şeklindedir. Azalma trendi olmakla birlikte %95 güven aralığına göre değerlendirildiğinde bu noktalarda z değeri belirtilen kriterlerin dışında kaldığı için trend yoktur kabulü yapılmıştır. Tespit edilen anlamlı artış trendlerine bakıldığında, değişim miktarının 0,032 °C/yıl ile 0,104 °C/yıl arasında değiştiği belirlenmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Kızılırmak havzasında bulunan sekiz il merkezinin meteoroloji gözlem istasyonlarına ait veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınarak 1980-2017 yılları arasındaki 38 yıllık döneme trend analizi işlemi uygulanmıştır. Bu istasyonların minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık verilerine ayrı ayrı aylık, mevsimlik ve yıllık olmak üzere trend analizi uygulanmıştır. Trend analizi sonuçlarında sekiz istasyonun hepsinde minimum, maksimum ve ortalama sıcaklıklarda Ağustos ayında anlamlı artış trendi olduğu tespit edilmiştir. Yıllık trende bakıldığında çalışma kapsamındaki istasyonların tamamında minimum, maksimum ve ortalama sıcaklıklarda anlamlı artış trendi olduğu gözlenmiştir. Ayrıca burada belirtilen anlamlı artış trendlerinin dışında aylar ve dönemlerin birçoğunda anlamlı artış trendi olduğu, anlamsız olduğu için trend yoktur kabulü yapılan birçok noktada da artış trendi olduğu tespit edilmiştir. Sadece birkaç noktada anlamsız azalma trendi olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda teste tabi tutulan istasyonların sıcaklıklarında artış trendi olduğu rahatlıkla söylenebilir.

Çalışmada değerlendirmeye alınan istasyonlardaki sıcaklıkların artış trendinde olması istasyonların şehir merkezlerinde olmasıyla ilgili olabilir. Nitekim şehir merkezlerinde şehirleşmenin, sanayinin hızla gelişmesi nüfusu da hızla arttırmaktadır. Bu gelişmeler enerji tüketimini, trafiği ve betonlaşmayı artırırken yeşil alanları azaltmakta bu da radyasyon dengesini değiştirmektedir. Radyasyon dengesinin değişimiyle sıcaklık, yağış gibi parametrelerde zamanla farklılaşmalar meydana gelmektedir [17].

Sıcaklık ve yağış gibi faktörlerde meydana gelen değişiklikleri kapsayan iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkileri suyun yönetimi açısından önemli olmaktadır. Diğer taraftan iklim değişikliği kaynaklı buharlaşma ve yağış rejimlerinin değişmesiyle birlikte kuraklık ve taşkın riskleri doğabileceği dolayısıyla yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının da uzun vadede etkilenebileceği bilinmektedir. Su kaynaklarının etkilenmesiyle birlikte tarım, enerji, arazi kullanımı, hayvancılık gibi birçok parametre de etkilenecektir.

Sen'in trend testi ile belirlenen değişim miktarları incelendiğinde; minimum sıcaklıklarda en büyük artış miktarının bütün istasyonlarda Ağustos ayında meydana geldiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte sekiz meteoroloji istasyonu içinde en büyük artış miktarı 0,144 °C/yıl ile Kayseri meteoroloji istasyonunda meydana gelmiştir. Minimum sıcaklıklardaki en fazla artışın havza genelinde Ağustos ayında olması dikkat çekicidir. Maksimum sıcaklıklardaki en büyük artış miktarının sekiz meteoroloji istasyonunun tamamında Şubat ayında gerçekleştiği belirlenmiştir. Yozgat meteoroloji istasyonu 0,126 °C/yıl ile en fazla artışı gösteren meteoroloji istasyonu olmuştur. Maksimum sıcaklıklardaki en büyük artış miktarının bütün istasyonlarda kış mevsiminde ait olan Şubat ayında gerçekleşmiş olmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Ortalama sıcaklıkların artış miktarı incelendiğinde; Yozgat meteoroloji istasyonu dışındaki istasyonlarda en büyük artış miktarı Ağustos ayında meydana gelirken, Yozgat meteoroloji istasyonunda Şubat ayında meydana geldiği tespit edilmiştir. Sekiz meteoroloji istasyonu içinde en büyük artış miktarının 0,104 °C/yıl ile Nevşehir meteoroloji istasyonunda olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık değerlerindeki değişim miktarları ve meydana geldikleri yerler incelendiğinde havza genelinde bir bütünlük olduğunu söylemek mümkündür. Havzanın genelinde sıcaklıklar açısından aynı karakteristik özellikleri gösterdiği düşünülmektedir.

Sıcaklıklarda artış trendi olmasıyla birlikte yağışta olası bir azalma trendinin gelecekte kuraklığa sebep olabileceği ve tarımsal faaliyetleri olumsuz etkileyebileceği tahmin edilmektedir. Yayınlanan emisyon senaryoları ve iklim modellerinin birçoğunda dünyanın farklı bölgelerinde sıcaklıkların gelecek dönemlerde artacağı öngörülmektedir. Çalışma bölgesindeki sıcaklıklardaki artış trendi olması bu öngörüğü desteklemektedir.

Kaynakça

- [1] IPCC, 2013. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 1535s.
- [2] Kankal, M., Akçay, F. 2019. Trabzon İli Yağışlarının Eğilim Analizi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (2), 318-331.
- [3] Cebe, E. N. 2007. Türkiye akarsularında mevsimsel trend analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72s, İstanbul.
- [4] Partal, T. 2002. Türkiye yağış verilerinin trend analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, İstanbul.

- [5] Bağdatlı, M. C., İstanbulluoğlu, A., Altürk, B., Arslan, C. 2014. Uzun Yıllık Sıcaklık Verilerindeki Değişim Trendinin Tarımsal Kuraklık Açısından Değerlendirilmesi: Çorlu Örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 100-107.
- [6] Cosun, F., Karabulut, M. 2009. Kahramanmaraş'ta Ortalama, Minimum ve Maksimum Sıcaklıkların Trend Analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (53), 41-50.
- [7] Ülke, A., Özkoca, T. 2018. Sinop, Ordu ve Samsun İllerinin Sıcaklık Verilerinde Trend Analizi. *GÜFBED*, 8(2), 455-463.
- [8] Özfidaner, M., Şapolyo, D., Topaloğlu, F. 2019. Adana ilinde maksimum ve Minimum Sıcaklıkların Gidiş Analizi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(2), 237-241.
- [9] Yu, D. L., Li, W. J., Zhou, Y. 2019. Analysis of Trends in Air Temperature at Chinese Stations Considering the Long-Range Correlation Effect. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 533, 122034, 1-11.
- [10] Tübitak MAM. (2010). Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması - Kızılırmak Havzası. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı adına TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi. 529s.
- [11] Anonim, 2019. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/FotografGalerisi/KIZILIRMAK%20HAVZA/SI09.08.2019/02.jpg> (Erişim Tarihi: 13.08.2020).
- [12] Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests for Detecting Monotonic Trends in Hydrological Series. *Journal of hydrology*, 259(1-4), 254-271.
- [13] Yu, Y. S., Zou, S., Whittemore, D. 1993. Non-Parametric Trend Analysis of Water Quality Data of Rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150(1), 61-80.
- [14] Büyükyıldız, M., Berktay, A. 2004. Parametrik Olmayan Testler Kullanılarak Sakarya Havzası Yağışlarının Trend Analizi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19(2), 23-38.
- [15] Sen, P. K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.
- [16] Soydan, N. G., Gümüş, V., Şimşek, O., Gerger, R., Ağun, B. 2016. Seyhan Havzası Aylık Ortalama Akım ve Yağış Verilerinin Trend Analizi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 7(2), 319-327.
- [17] Çiçek, İ., Doğan, U. 2005. Ankara'da Şehir Isı Adasının İncelenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 3(1), 57-72.

Ekler

Ek A. Ortalama aylık minimum sıcaklık değerlerinin trend analizi sonuçları

İstasyon Adı	Trend Analizi	O Ş M N M H T A E E K A İ Y S K												Yıllık				
		O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A		İ	Y	S	K
Sivas	Mann-Kendall (Z)	0,48	1,36	2,21	0,33	1,32	2,84	2,00	3,13	2,93	1,95	0,34	0,13	2,63	2,50	2,54	1,23	3,09
	Sen'in trend testi	0,030	0,083	0,091	0,006	0,026	0,036	0,040	0,109	0,061	0,045	0,008	0,005	0,038	0,061	0,040	0,043	0,043
Kayseri	Trend	---	---	↑	---	---	↑	↑	↑	↑	---	---	↑	↑	↑	---	---	↑
	Mann-Kendall (Z)	0,96	2,15	3,04	1,62	3,09	1,90	1,74	1,97	2,58	2,59	1,14	0,77	2,37	1,82	3,75	1,99	2,31
Nevşehir	Sen'in trend testi	0,004	0,077	0,114	0,040	0,058	0,079	0,081	0,144	0,121	0,068	0,034	0,039	0,067	0,100	0,089	0,065	0,078
	Trend	---	↑	↑	---	↑	---	---	↑	↑	↑	---	---	↑	---	↑	---	↑
Kırşehir	Mann-Kendall (Z)	0,01	1,71	2,54	0,99	2,75	3,23	3,18	2,68	3,67	1,53	1,51	0,35	3,38	2,81	3,41	0,85	3,10
	Sen'in trend testi	0,000	0,080	0,082	0,031	0,056	0,069	0,103	0,132	0,097	0,059	0,050	0,022	0,053	0,096	0,065	0,036	0,064
Yozgat	Trend	---	---	↑	---	↑	↑	↑	↑	↑	---	---	---	↑	↑	---	---	↑
	Mann-Kendall (Z)	-0,48	0,80	1,89	-0,03	1,57	2,86	3,14	2,73	2,69	1,95	0,00	-0,01	1,92	3,20	2,92	0,43	2,70
Kırıkkale	Sen'in trend testi	-0,012	0,041	0,048	-0,002	0,026	0,049	0,064	0,089	0,053	0,041	0,000	-0,002	0,023	0,069	0,034	0,014	0,031
	Trend	---	---	---	---	---	↑	↑	↑	↑	---	---	---	---	↑	---	---	↑
Çankırı	Mann-Kendall (Z)	0,14	1,76	2,02	0,50	2,04	3,94	2,29	2,71	2,94	1,91	0,72	0,03	2,85	2,42	2,84	0,79	2,66
	Sen'in trend testi	0,008	0,079	0,064	0,016	0,037	0,051	0,070	0,104	0,064	0,045	0,020	0,002	0,039	0,076	0,042	0,031	0,045
Kastamonu	Trend	---	---	↑	---	↑	↑	↑	↑	---	---	---	---	↑	↑	---	---	↑
	Mann-Kendall (Z)	-0,01	1,11	1,86	-0,21	1,81	2,58	2,66	3,56	3,02	1,86	0,01	-0,44	1,79	3,28	2,38	0,25	2,93
Kastamonu	Sen'in trend testi	-0,001	0,037	0,049	-0,008	0,026	0,050	0,066	0,097	0,064	0,050	0,003	-0,023	0,020	0,069	0,046	0,009	0,033
	Trend	---	---	---	---	---	↑	↑	↑	↑	---	---	---	---	↑	---	---	↑
Kastamonu	Mann-Kendall (Z)	0,31	1,19	1,99	-0,40	1,60	3,27	1,89	2,42	2,24	2,25	-0,38	-0,44	1,23	2,79	2,20	0,52	2,62
	Sen'in trend testi	0,011	0,039	0,049	-0,009	0,030	0,030	0,031	0,080	0,047	0,054	-0,007	-0,019	0,018	0,051	0,039	0,017	0,022
Kastamonu	Trend	---	---	↑	---	---	↑	↑	↑	↑	---	---	---	↑	---	---	---	↑
	Mann-Kendall (Z)	0,47	1,61	1,92	-0,08	1,31	2,16	1,41	2,99	2,23	1,61	0,25	-0,44	1,27	2,82	2,05	0,35	2,19
Kastamonu	Sen'in trend testi	0,010	0,052	0,048	-0,002	0,019	0,031	0,027	0,061	0,040	0,041	0,009	-0,016	0,016	0,037	0,030	0,012	0,021
	Trend	---	---	---	---	---	↑	---	↑	---	---	---	---	---	↑	---	---	↑

---: Trend yok, ↓: Azalan trend, ↑: Artan trend

Ek B. Ortalama aylık maksimum sıcaklık değerlerinin trend analizi sonuçları

İstasyon Adı	Trend Analizi	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	i	Y	S	K	Yıllık
Sivas	Mann-Kendall (Z)	0,88	2,18	2,58	1,58	1,79	3,56	2,43	3,57	0,84	1,13	2,31	1,03	3,60	3,00	2,87	2,23	2,71
	Sen'in trend testi	0,050	0,111	0,105	0,049	0,051	0,065	0,076	0,109	0,031	0,040	0,096	0,053	0,077	0,090	0,064	0,079	0,068
Kayseri	Trend	---	↑	↑	---	---	↑	↑	↑	---	---	↑	---	↑	↑	↑	↑	↑
	Mann-Kendall (Z)	0,11	1,63	1,89	0,85	1,08	2,38	2,02	2,84	0,40	0,11	1,56	0,44	2,44	2,92	1,75	1,58	3,17
Nevşehir	Sen'in trend testi	0,007	0,100	0,068	0,033	0,044	0,052	0,062	0,078	0,010	0,003	0,069	0,024	0,054	0,065	0,037	0,056	0,045
	Trend	---	---	---	---	---	↑	↑	↑	---	---	---	↑	↑	---	---	---	↑
Kırşehir	Mann-Kendall (Z)	0,67	2,40	2,02	1,53	2,14	2,68	2,93	3,47	1,27	0,79	1,75	0,65	3,47	2,66	2,64	1,79	3,18
	Sen'in trend testi	0,030	0,115	0,089	0,055	0,058	0,078	0,094	0,095	0,036	0,038	0,066	0,024	0,074	0,089	0,059	0,053	0,066
Yozgat	Trend	---	↑	↑	---	↑	↑	↑	↑	---	---	---	---	↑	↑	↑	---	↑
	Mann-Kendall (Z)	0,28	2,33	2,48	1,65	2,46	2,29	3,42	3,55	1,16	0,82	2,14	0,63	3,42	3,00	2,45	1,80	3,26
Kırkkale	Sen'in trend testi	0,016	0,113	0,099	0,061	0,065	0,062	0,096	0,098	0,028	0,033	0,073	0,027	0,070	0,086	0,059	0,046	0,067
	Trend	---	↑	↑	---	↑	↑	↑	↑	---	---	↑	---	↑	↑	↑	---	↑
Çankırı	Mann-Kendall (Z)	0,97	2,46	2,10	1,66	2,31	2,55	2,73	3,56	1,33	0,74	2,36	0,94	3,61	2,52	2,92	2,44	2,92
	Sen'in trend testi	0,045	0,126	0,089	0,069	0,064	0,069	0,095	0,105	0,041	0,027	0,095	0,039	0,076	0,092	0,065	0,067	0,073
Kastamonu	Trend	---	↑	↑	---	↑	↑	↑	↑	---	---	↑	---	↑	↑	↑	↑	↑
	Mann-Kendall (Z)	0,25	1,84	2,07	1,66	1,71	2,34	3,02	3,53	0,91	0,14	2,75	0,54	3,37	2,37	2,51	1,47	2,81
Çankırı	Sen'in trend testi	0,014	0,100	0,085	0,063	0,043	0,055	0,093	0,097	0,030	0,005	0,087	0,018	0,073	0,085	0,055	0,041	0,059
	Trend	---	---	↑	---	---	↑	↑	↑	---	---	↑	---	↑	↑	↑	---	↑
Kastamonu	Mann-Kendall (Z)	-0,17	1,56	1,66	1,01	1,66	2,64	2,79	2,67	0,50	0,04	2,55	0,40	2,58	2,42	2,25	1,50	3,53
	Sen'in trend testi	-0,002	0,093	0,058	0,045	0,045	0,065	0,079	0,090	0,019	0,001	0,083	0,011	0,056	0,071	0,042	0,032	0,049
Kastamonu	Trend	---	---	---	---	---	↑	↑	↑	---	---	↑	---	↑	↑	↑	---	↑
	Mann-Kendall (Z)	0,20	2,48	2,04	1,66	2,05	1,79	2,39	2,94	1,21	0,67	3,03	0,28	3,31	2,21	2,87	1,56	2,71
Kastamonu	Sen'in trend testi	0,010	0,115	0,076	0,066	0,056	0,063	0,095	0,105	0,047	0,023	0,098	0,007	0,068	0,087	0,065	0,035	0,065
	Trend	---	↑	↑	---	↑	---	↑	↑	---	---	↑	---	↑	↑	↑	---	↑

---: Trend yok, ↓: Azalan trend, ↑: Artan trend

Ek C. Aylık ortalama sıcaklık değerlerinin trend analizi sonuçları

İstasyon Adı	Trend Analizi	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	i	Y	S	K	Yıllık
Sivas	Mann-Kendall (Z)	0,68	1,82	2,35	1,12	1,11	2,87	2,28	3,92	1,86	1,76	1,65	0,43	3,21	2,84	2,72	1,58	3,61
	Senin trend testi	0,033	0,084	0,093	0,027	0,030	0,046	0,056	0,097	0,040	0,041	0,046	0,025	0,053	0,068	0,041	0,066	0,052
Kayseri	Trend	---	---	↑	---	---	↑	↑	↑	---	---	---	---	↑	↑	↑	---	↑
	Mann-Kendall (Z)	0,33	1,79	2,49	1,26	1,86	3,07	3,33	2,52	2,40	1,65	1,40	0,78	3,23	2,66	3,19	1,51	4,60
Nevşehir	Senin trend testi	0,018	0,082	0,089	0,036	0,035	0,057	0,071	0,100	0,057	0,045	0,041	0,031	0,049	0,080	0,052	0,050	0,056
	Trend	---	---	---	---	---	↑	↑	↑	↑	---	---	---	↑	↑	↑	---	↑
Kırşehir	Mann-Kendall (Z)	0,23	2,02	2,23	1,23	2,25	2,81	3,43	2,55	2,60	1,61	1,67	0,36	3,39	3,16	3,12	1,31	3,41
	Senin trend testi	0,004	0,093	0,75	0,039	0,048	0,060	0,092	0,104	0,058	0,049	0,048	0,022	0,060	0,074	0,058	0,035	0,062
Yozgat	Trend	---	↑	↑	---	↑	↑	↑	↑	↑	---	---	---	↑	↑	↑	---	↑
	Mann-Kendall (Z)	-0,21	1,47	1,91	0,93	1,77	2,85	3,31	3,75	1,31	1,19	0,98	0,15	2,78	3,00	2,41	0,78	3,57
Kırıkkale	Senin trend testi	-0,009	0,073	0,063	0,028	0,036	0,053	0,082	0,090	0,029	0,031	0,029	0,011	0,043	0,74	0,040	0,020	0,045
	Trend	---	---	---	---	---	↑	↑	↑	---	---	---	---	↑	↑	↑	---	↑
Çankırı	Mann-Kendall (Z)	0,47	1,96	2,07	1,11	1,89	3,14	2,52	3,53	1,71	1,19	1,26	0,55	3,18	2,29	2,70	1,52	3,15
	Senin trend testi	0,019	0,099	0,075	0,040	0,034	0,053	0,081	0,094	0,047	0,033	0,045	0,024	0,058	0,076	0,046	0,043	0,054
Kastamonu	Trend	---	↑	↑	---	---	↑	↑	↑	---	---	---	---	↑	↑	↑	---	↑
	Mann-Kendall (Z)	0,24	1,51	1,94	0,77	1,37	2,78	2,81	2,39	2,19	0,85	1,53	-0,20	2,97	2,37	2,64	0,63	3,61
Kastamonu	Senin trend testi	0,006	0,079	0,055	0,027	0,033	0,056	0,080	0,091	0,046	0,022	0,042	-0,008	0,045	0,073	0,047	0,015	0,043
	Trend	---	---	---	---	---	↑	↑	↑	↑	---	---	---	↑	↑	↑	---	↑
Kastamonu	Mann-Kendall (Z)	0,38	1,40	1,82	0,57	1,52	2,64	2,18	2,85	1,37	0,83	1,28	-0,15	2,48	2,71	2,10	0,63	3,13
	Senin trend testi	0,010	0,063	0,050	0,015	0,028	0,051	0,055	0,081	0,032	0,023	0,025	-0,05	0,032	0,060	0,028	0,018	0,033
Kastamonu	Trend	---	---	---	---	---	↑	↑	↑	---	---	---	---	↑	↑	↑	---	↑
	Mann-Kendall (Z)	-0,05	1,96	1,89	0,73	1,87	2,75	2,24	3,00	2,05	0,097	1,60	-0,58	2,59	2,50	2,41	0,79	3,71
Kastamonu	Senin trend testi	0,000	0,072	0,051	0,018	0,033	0,041	0,052	0,078	0,038	0,021	0,039	-0,011	0,035	0,062	0,034	0,018	0,036
	Trend	---	↑	---	---	---	↑	↑	↑	↑	---	---	---	↑	↑	↑	---	↑

---: Trend yok, ↓: Azalan trend, ↑: Artan trend

Süreç Ortalaması için Tek Taraflı Medyan Kalite Kontrol Kartı

Nejla ÖZKAYA TURHAN¹, Sevgi YURT ÖNCEL^{*2}

¹Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 06100, Ankara, Türkiye

²Kırıkkale Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

(Alınış / Received: 19.02.2020, Kabul / Accepted: 02.10.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Ön istatistik,
Parametrik olmayan kalite
kontrol kartları,
Sıra istatistikleri,
Tek-taraflı medyan kalite
kontrol kartları

Özet: Bir fabrikanın üretim sürecinin kalitesini kontrol etmek amacıyla kullandığı en hızlı, ve güvenilir yöntemlerden biri klasik Shewhart kontrol kartlarıdır. Ancak küçük örneklem durumunda, normal dağılım varsayımının şüpheli olduğu durumlarda ve çarpık ya da ağır kuyruklu dağılım söz konusu olduğunda Shewhart kontrol kartı ile süreci takip etmek riskli olacaktır. Böyle durumlarda parametrik olmayan kontrol kartları tercih edilir. Bu çalışmada tek taraflı parametrik olmayan kontrol kartları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ön istatistiğe dayalı tek taraflı medyan kontrol kartı için yanlış alarm oranı, çalışma uzunluğu ve ortalama çalışma uzunluğunun değerleri hesaplanmıştır. Medyan kontrol kartlarının tek dezavantajı hesaplamalarının güçlüğüdür. Bu güçlüğü gidermek için farklı örneklem hacimleri ve farklı olasılıklar için yapılan hesaplamalar orijinal tablolarda sunulmuştur. Ülkemizde üretim yapan ve istatistiksel kalite kontrol sürecine önem veren sanayi kuruluşları için hazırlanan bu tablolar büyük kolaylıklar sağlayacaktır. Çalışmanın sonunda bir veri seti üzerinde uygulama yapılarak ön istatistiğine dayalı medyan kontrol kartının kullanımı gösterilmiştir.

One Sided Median Quality Control Chart for Process Mean

Keywords

Precedence statistics,
Nonparametric quality
control charts,
Order statistics,
One-sided median quality
control charts

Abstract: One of the fastest and most reliable methods used by a factory to control the quality of the production process is classical Shewhart control charts. However, in the case of a small sample size, in cases where the normal distribution assumption is suspect, in case of skewed or heavy-tailed distribution, it will be risky to follow the process with the Shewhart control charts. In such cases, non-parametric control cards are preferred. In this study, one-sided non-parametric control cards are examined in detail. Precedence statistics which is statistical independent of distribution were considered and the false alarm rate, working length and average working length values are calculated for this statistical one-way median control card. False alarm rate, a run length and average run length values calculated for the one-sided median control card based on precedence statistics. The only disadvantage of the median control cards is the difficulty of its calculations. To eliminate this difficulty, calculations were given for different sample sizes and different possibilities in the original tables. These tables, which were prepared for industrial organizations making production in our country and giving importance to the statistical quality control process, will provide great convenience. At the end of the study, an application of a median control card based on precedence statistics on a data set is shown.

1. Giriş

Süreç kontrolünde en çok kullanılan istatistiksel yöntemlerden biri kontrol kartları tekniğidir. İstatistiksel kalite kontrol kartları ilk kez Shewhart tarafından ortaya konulmuştur [1]. Birçok kontrol kartı arasında, Shewhart kontrol kartları sadeliği, uygulama kolaylığı ve süreçte ortaya çıkan büyük

kaymaları saptama bakımından oldukça etkilidir. Shewhart kontrol kartlarını tanımlamak için, varsayalım ki sürecin konum parametresi θ ve θ 'nın yansız tahmin edicisi $T(X_1, X_2, \dots, X_n)$ istatistiği olsun. ($E(T(X_1, X_2, \dots, X_n)) = \theta$ oluyorsa $T(X_1, X_2, \dots, X_n)$ istatistiğine θ için yansız tahmin edici denir.) $T(X_1, X_2, \dots, X_n)$ istatistiğinin standart sapması σ_T olmak üzere Shewhart kontrol kartlarının limitleri

*İlgili yazar: syoncel@gmail.com

$$\bar{ÜKL} = \theta + k\sigma_T, ML = \theta, AKL = \theta - k\sigma_T$$

dır. Burada $k > 0$ olmak üzere kontrol kartlarının orta çizgiden, standart sapmayla ifade edilen uzaklığını, $\bar{ÜKL}$ üst kontrol limitini, AKL alt kontrol limitini ve ML ise merkez çizgiyi göstermektedir [2, 3]. Bu kontrol limitleri k -sigma kontrol limitleri olarak ifade edilir. Genellikle $k = 3$ alınır ve 3-sigma limitleri olarak bilinir. Shewhart kontrol kartlarında sürecin dağılımının normal dağılım olduğu ya da T 'nin θ ortalamalı normal dağılıma yaklaştığı varsayımına dayanır. Örneğin, θ yerine süreç ortalaması μ alınabilir. Kalite kontrol kartlarının kullanılmasında ki asıl amaç, süreçteki değişikliği en kısa sürede tespit etmektir. Süreçte istenmeyen bir kayma olması durumunda, kontrol kartı mümkün olduğu kadar çabuk algılamalı ve kontrol dışı sinyal vermelidir. Doğru sinyalin algılanması ne kadar hızlı ise, kontrol kartı da o kadar verimlidir.

Yaygın olarak kullanılan Shewhart kontrol kartları, süreç çıktısının dağılımının normal dağılım olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu varsayım pratikte sağlanamayabilir. Süreç dağılımı ağır ya da hafif kuyruklu veya simetrik olmayan dağılımlar söz konusu olduğunda parametrik olmayan kontrol kartları emsalleri olan parametrik kontrol kartlarından daha iyi performans göstermektedir. Böyle durumlarda parametrik olmayan ya da dağılımdan bağımsız kontrol kartları tercih edilebilir. Parametrik olmayan kartların çoğu, sürekli bir dağılımın merkezini temsil eden konum parametresi üzerinedir. Konum parametresi olarak süreç dağılımının ortalaması ya da ortancası alınabilir. Parametrik olmayan kontrol kartların avantajı, ölçülen değişkenlerin dağılımları hakkında herhangi bir varsayım gerektirmemesi ve bu kartların aykırı değerler için sağlam (robust) özelliğe sahip olmasından dolayı çarpık ya da ağır kuyruklu dağılımlardan etkilenme olasılığının daha düşük olmasıdır. Ayrıca, sürecin kitle dağılımının varyansının bilinmesine veya tahmin edilmesine de gerek yoktur.

Dağılımdan bağımsız kontrol kartları üzerine birçok çalışma olsa da, bu konu hakkında ilk çalışmalar Bakir ve Reynolds tarafından yapılmıştır [4]. Daha sonraki yıllarda, Amin, Reynolds ve Bakir tarafından işaret test istatistiğine dayalı kontrol kartları ve Bakir tarafından işaretlenmiş rank istatistiğinden faydalanarak parametrik olmayan kontrol kartları oluşturulmuştur [5,6]. Janacek ve Meikle [7], Balakrishnan, Triantafyllou ve Koutras [8, 9], Chakraborti, Van der Laan ve Bakir [10], Chakraborti, Van der Laan ve Van de Wiel [11], Triantafyllou, [12,13]'nin parametrik olmayan kalite kontrol kartları hakkında önemli çalışmalarını bulunmaktadır. Shongwe, Malela-Majika ve Rapoo Shewhart kontrol kartları için w-of-w için çalışma uzunluğu kuralları geliştirmişlerdir [14]. Bu çalışmada ön

istatistiklerden faydalanarak tek taraflı medyan kontrol kartları oluşturulmuştur. Eğer ön istatistiğine dayalı iki taraflı medyan kontrol kartlarına ihtiyaç duyulursa Turhan ve Öncel tarafından hazırlanmış tablolar kullanılabilir [15].

Bir süreç, hedeflenen duruma göre çalışıyorsa, istatistiksel olarak süreç kontrol altında ya da kontrol içinde (in-control (IC)) olarak kabul edilir. Sürecin kontrol altında olmadığı zaman, kontrol dışı olduğu (out-of-control (OOC)) söylenir. Böyle durumda, bazı özel sebeplerin süreci etkilediği düşünülür ve bu sebepler belirlenerek, ortadan kaldırılır. Süreç tekrar IC durumuna geri getirilir.

Dağılımdan bağımsız bir kontrol kartı sağlam istatistiklere dayanan grafiksel bir araçtır ve süreç değişkenliğini anlamak, kaliteyi korumak ve geliştirmek için objektif bir yol sağlar. Bu nedenle, kontrol kartı grafiği istatistik süreç kontrolünde önemli bir rol oynar. Kontrol kartları alt kontrol limiti, üst kontrol limiti ve merkez çizgi olmak üzere üç yatay çizgiden oluşur. Bu üç çizgi yardımıyla sürecin IC ya da OOC olduğuna karar verilir. Süreç kontrol altındayken alınan X_1, X_2, \dots, X_m referans örneklemleri kullanılarak kontrol limitlerinin sınırları belirlenir. Sürecin kontrol altında olup olmadığını test etmek için sistemden Y_1, Y_2, \dots, Y_n test örneklemleri alınır. Süreç için belirlenen istatistiğe göre (örneğin ortalama) sistemin kontrol altında olup olmadığı belirlenmeye çalışılır. Belirlenen istatistik değerleri kontrol limitlerinin üzerine ya da dışına düşerse sistemin kontrol dışında olduğu belirtilir. Bu olaya sinyal ya da alarm denir. Bir sinyal gözlemlendiğinde, genellikle sinyalin kaynağını bulmak için bir araştırma başlatılır ve gerekiyorsa sisteme müdahale edilir. Sistem gerçekte IC iken sistemin OOC olduğu belirtilirse yanlış alarm verilmiş olur.

Kontrol kartları ile hipotez testleri ve güven aralıkları arasında benzerlikler vardır. Shewhart kontrol kartları kullanıldığında kart istatistiği kontrol limitleri arasına düştüğünde sürecin kontrol altında olduğu, kart istatistiği kontrol limitlerinin üstüne veya altına düştüğünde ise sürecin kontrol dışında olduğu belirtilir. Hipotez testlerinde olduğu gibi, kart istatistiğinin değeri ve karar bölgesine göre karar verilir. Kart istatistiği T olmak üzere, standart sapması σ_T ve süreç ortalaması θ için hipotez $H_0: \theta = \theta_0, H_1: \theta \neq \theta_0$ şeklinde kurulur. T istatistiği olarak örneklem ortalaması ve süreç ortalaması da μ olmak üzere μ 'nün belirlenmiş bir μ_0 değerine eşit olup olmaması hipotezi $H_0: \mu = \mu_0, H_1: \mu \neq \mu_0$ şeklinde kurulur [2].

Bir kontrol kartının performansını incelerken hipotez testlerinde olduğu gibi hatalar ve hataların olasılıkları hesaplanabilir. I tip hata, aslında sistem IC olduğunda sistemin OOC olarak bildirildiği olaydır. II. tip hata ise gerçekte sistemin OOC durumunda olduğu fakat sistemin IC olarak bildirildiği olaydır. Yani,

$$\alpha = P(\text{I. tip hata}) \\ = P(\text{sistemin OOC gözükmesi} | \text{sistem gerçekte IC})$$

$$\beta = P(\text{II. tip hata}) \\ = P(\text{sistemin IC gözükmesi} | \text{sistem gerçekte OOC})$$

I. tip hata, genellikle yanlış alarm (*FA*) ve bu olayın gerçekleşme olasılığı da yanlış alarm oranı (false alarm rate-*FAR*) olarak ifade edilir.

Genel olarak istatistiksel süreç kontrolünün pratikte iki aşamada uygulandığı kabul edilir: Faz I (geriye dönük faz) ve Faz II (ileriye dönük faz). Faz I aşaması öncelikle süreci daha iyi anlamak ve süreç istikrarını değerlendirmekten oluşur. Genellikle geçmiş verileri veya başlangıçtaki verileri analiz ederek, değişim nedenlerini saptayarak ve ortadan kaldırarak süreci kontrol altına almaya çalışılmaktadır. Faz I analizi, tipik olarak tasarım, tahmin (bilinmeyen parametrelerin tahmini) ve kontrol limitlerinin oluşturulması ile ilgili hususları içerir. Bu fazda kontrol limitleri genellikle deneme limitleri olarak görülür. Bilinmeyen bir parametre varsa, kontrol kartlarının oluşturulmasında kullanılan kontrol içi verilerden (referans veri olarak da bilinen) tahmin edilir. Faz II'de ise, Faz I'de yapılan parametre tahminleri ve hesaplanan kontrol limitleri kullanarak süreç izlenir.

2. Ön (Precedence) İstatistik

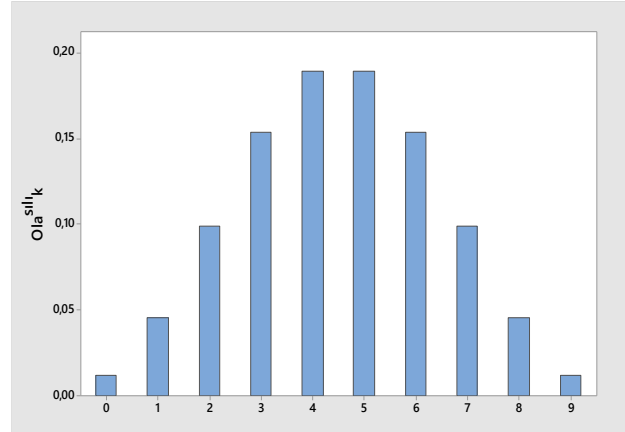
X_1, X_2, \dots, X_m örneklem $F(x)$ dağılımından Y_1, Y_2, \dots, Y_n örnekleme $G(x)$ dağılımından alınmış m ve n boyutlu iki bağımsız örneklem olmak üzere $X_{1:m} \leq X_{2:m} \leq \dots \leq X_{m:m}$ ve $Y_{1:n} \leq Y_{2:n} \leq \dots \leq Y_{n:n}$ rasgele değişkenleri sırası ile bu örneklemelerin sıra istatistikleri olsun. X örnekleminde $X_{j:m}$ sıra istatistiği seçilsin. Belirlenen $X_{j:m}$ sıra istatistiğinin altında kalan toplam Y gözlemlerin sayısı W_j ile gösterilsin. Bu şekilde belirlenen $X_{j:m}$ sıra istatistiği bir rasgele bariyer noktası ve W_j istatistiğine de ön (precedence) istatistik denir. Bu istatistikler yaşam analizinde, güvenilirlikte, sel ve kuraklık gibi birçok doğa olaylarının modellenmesinde, kalite kontrolünde ve iki örneklemin aynı dağılımdan gelip gelmediğini yani $H_0: F(t) = G(t)$ hipotezini test etmek için de kullanılır. W_j ön istatistiklerine dayanan testler ön test olarak adlandırılır. Ön test istatistikleri dağılımdan bağımsız istatistiklerdir.

Ön istatistiği $P(Y_{j:n} > X_{i:m})$ şeklinde gösterelim. Y gözlemlerinden $X_{i:m}$ bariyerinin altında $j - 1$ tane gözlem olacaktır. Yani $P(W_j \leq j - 1)$ olasılığı H_0 hipotezinin doğruluğu koşulunda yani $F = G$ olması durumunda da $w = 0, 1, \dots, m$ için

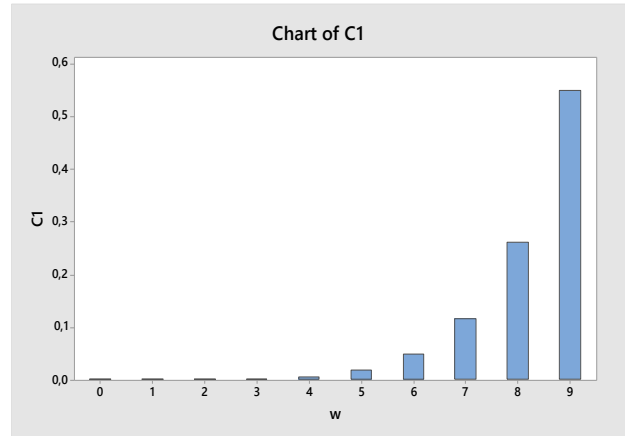
$$P(W_j = w) = \frac{\binom{j+w-1}{w} \binom{m+n-j-w}{m-w}}{\binom{m+n}{n}} \quad (1)$$

olarak elde edilir. Kalite kontrol, güvenilirlik gibi alanlarda çoğunlukla olasılık dağılımları bilinmez ya da normal dağılım olmadığı durumlarla sıklıkla karşılaşılır. Böyle durumlarda dağılımdan bağımsız istatistikler olan ön istatistikler rahatlıkla kullanılabilir. Tablo 1'de $m = 9, n = 11, j = 1, 6, 11$ değerlerine göre W_j 'nin dağılımı elde edilmiştir.

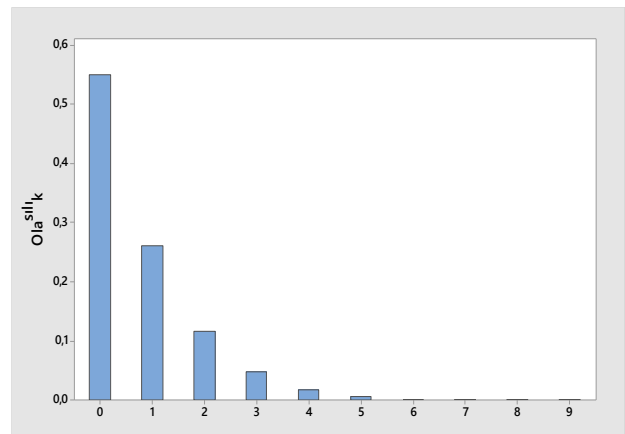
Aşağıda verilen Tablo 1 ve Şekil 1-3'e göre $H_0: F(t) = G(t)$ hipotezinin doğru olduğu varsayımı altında (süreç kontrol altındayken) W_j istatistiğinin dağılımı, dağılımdan bağımsızdır.



Şekil 1. $j = 6$ için W_j 'nin dağılımı simetriktir



Şekil 2. $j = 11$ için W_j 'nin dağılımı sola çarpıktır.



Şekil 3. $j = 1$ için W_j 'nin dağılımı sağa çarpıktır.

Tablo 1: $n=11, m=9$ olması durumunda W_j istatistiği için ön (precedence) istatistiğinin olasılık dağılımı

	w	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$j = 6$	$P(W_j = w)$	0.0119	0.0460	0.099	0.154	0.189	0.189	0.154	0.099	0.0460	0.0119
	$F_w(w)$	0,0119	0,0579	0,1569	0,311	0,500	0,689	0,8431	0,9421	0,9881	1,000
$j = 11$	$P(W_j = w)$	0.00033	0.0024	0.0096	0.0275	0.0619	0.1149	0.1788	0.2299	0.2299	0.1447
	$F_w(w)$	0,00033	0,0027	0,0124	0,0399	0,1018	0,2167	0,3955	0,6254	0,8553	1,000
$j = 1$	$P(W_j = w)$	0,550	0,2605	0,1158	0,0477	0,0179	0,0060	0,0017	0,00039	0,00006	0,000005
	$F_w(w)$	0,550	0,8105	0,9263	0,9740	0,9919	0,9978	0,9995	0,9999	0,99999	1,0000

3. Tek Taraflı Ön Kontrol Kartları

Süreç ortalamasında ki değişikliği (artış ya da azalış) belirlemek için tek taraflı veya iki taraflı kontrol kartları tasarlanır. Süreçte meydana gelen belirli bir yöndeki değişimle, yani artış veya azalışla ilgilenildiğinde tek taraflı kontrol kartlarından faydalanılır. Yukarı taraflı (veya aşağı) değişiklikleri tespit etmek için tek taraflı üst (veya alt) kontrol kartları kullanılırken, süreçte yukarı veya aşağı olan bazı değişiklikleri belirlemek için de iki taraflı kontrol kartları kullanılır.

Tek taraflı kontrol kartları, özellikle bir süreç parametresindeki sadece yukarı (ya da sadece aşağı) doğru bir kaymanın söz konusu olduğu durumlarda kullanışlıdır. Örneğin, paraşüt yapmak için kullanılan malzemenin kopma mukavemetini takip ediyor olabiliriz. Malzemenin kopma mukavemeti azalırsa kritik bir zamanda yırtılabilir, oysa malzemenin kopma mukavemeti artarsa, malzeme kullanım sırasında yırtılmayacağından, kullanıcı için yararlıdır. Böyle bir durumda, tek taraflı alt kontrol kartı kullanmak yeterli olacaktır. Çünkü sadece süreç parametresinde ki aşağı doğru bir kaymayı tespit etmekle ilgilenilir [3].

Örneğin, ilgilenilen süreç parametresinin yukarı doğru kayması ile ilgileniliyorsa $\bar{U}KL = X_{b:m}$ değeri kullanılabilir. Burada yer alan değeri önceden belirlenen P_0 olasılık değerine ve (1) eşitliğinde verilen W_j 'nin dağılımı kullanılarak

$$P(Y_{j:n} \geq X_{b:m}) = P(b \leq W_j \leq m) \leq (1 - P_0)$$

eşitsizliğinden elde edilir. Eğer düşük değerlerin tespiti ile ilgileniliyorsa tek yanlı ön kontrol kartı için $AKL = X_{a:m}$ kullanılır.

3.1. Çalışma uzunluğu dağılımı

Bir kontrol kartının performansı genellikle çalışma uzunluğu (run length) dağılımı ile değerlendirilir. Çalışma uzunluğu, ilk kontrol dışı sinyalden önce yer alan alt grupların sayısını gösteren kesikli bir rastgele değişkendir. Çalışma uzunluğu N ile gösterilir. Genellikle bir kontrol grafiğinin performansını değerlendirmek için çalışma uzunluğunun dağılımından faydalanılır. Bunlardan en önemlisi çalışma uzunluğu dağılımı kullanılarak hesaplanan, çalışma uzunluğu dağılımının beklenen değeridir (Average Run Length-ARL).

3.2. Ortalama çalışma uzunluğu

Bir kontrol kartının en önemli performans ölçüsü ortalama çalışma uzunluğudur. Kontrol kartının ARL 'si, bir kontrol kartı ilk kez kontrol dışı sinyal verene kadar ki alt grupların beklenen sayısıdır. Eğer süreç kontrol altında ise ilk kontrol kartı sinyalinden önce alınan alt grupların beklenen sayısı, kontrol içi ortalama çalışma uzunluğu olarak adlandırılır ve ARL_0 olarak gösterilir. Eğer süreç kontrol dışında ise ise ilk kontrol kartı sinyalinden önce alınan alt grupların beklenen sayısı kontrol dışı ortalama çalışma uzunluğu denir ve ARL_1 ile gösterilir. Süreç kontrol altında iken ortalama çalışma uzunluğunun büyük, süreç kontrol dışındayken ortalama çalışma uzunluğunun küçük olması istenir.

3.3. Alt kontrol limitleri

Tek taraflı alt kontrol limiti $AKL = X_{a:m}$, $1 \leq a \leq m$ olarak alınır. Sürecin sinyal vermemesi olayı $Y_{j:n} \geq X_{a:m}$ 'dir. Buradaki a değeri önceden belirlenmiş $1 - P_0$ yanlış alarm oranına bağlı olarak

$$P(Y_{j:n} \leq X_{a:m}) = P(0 \leq W_j \leq a - 1) \leq (1 - P_0) \quad (2)$$

eşitsizliğinden elde edilir [10-11]. $Y_{j:n} \geq X_{a:m}$ olayının olasılığı yani sürecin sinyal vermemesi olasılığı

$$\begin{aligned} p_A &= P(Y_{j:n} \geq X_{a:m}) = E_{X_{a:m}} P(Y_{j:n} \geq X_{a:m} | X_{a:m}) \\ &= E_{X_{a:m}} P(G(Y_{j:n}) \geq G(X_{a:m}) | X_{a:m}) \\ &= E_{U_{a:m}} P(U_{j:n} \geq GF^{-1}(U_{a:m}) | U_{a:m}) \\ &= \int_0^1 P(U_{j:n} \geq GF^{-1}(t) | U_{a:m} = t) f(t) dt \\ &= \int_0^1 \left(\int_{GF^{-1}(t)}^1 \frac{1}{B(j,n-j+1)} u^{j-1} (1-u)^{n-j} du \right) f(t) dt \end{aligned}$$

$f(t)$, $U_{a:m}$ sıra istatistiğinin olasılık yoğunluk fonksiyonu olmak üzere

$$p_A = \int_0^1 \left[\frac{1}{B(j,n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} (1 - GF^{-1}(t))^{(j+h)} \right] \frac{m!}{(a-1)!(m-a)!} t^{a-1} (1-t)^{m-a} dt \quad (3)$$

elde edilir. Burada $B(j, n - j + 1) = \frac{(j-1)!(n-j)!}{n!}$ dir.

$H_0: F(x) = G(x)$ hipotezinin doğruluğu altında

$GF^{-1}(t) = FF^{-1}(t) = t$ olacağından p_A olasılığı

$$p_A = \int_0^1 \left[\frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} \right. \\ \left. \times (1-t)^{(j+h)} \right] \times \frac{m! t^{a-1} (1-t)^{m-a}}{(a-1)! (m-a)!} dt \quad (4)$$

olacaktır. Bu durumda yanlış alarm oranı

$$FAR = 1 - \int_0^1 \left[\frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} \right. \\ \left. \times (1-t)^{(j+h)} \right] \times \frac{m! t^{a-1} (1-t)^{m-a}}{(a-1)! (m-a)!} dt \quad (5)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Çalışma uzunluğu rastgele değişkeni olan N 'in dağılımı, $p_A = P(Y_{j:n} \geq X_{a:m})$ olasılığı ile geometrik dağılımına sahiptir. N rastgele değişkeninin dağılımı

$$P(N = k) = E_{X_{a:m}} \left((p_A(x))^{k-1} - (p_A(x))^k \right),$$

$k = 1, 2, \dots$ olmak üzere

$$E_{X_{a:m}} (p_A(x)^k) = E_{U_{a:m}} \left[P \left(U_{(j:n)} \geq GF^{-1}(U_{(a:m)}) \right) \right]^k \\ = \int_0^1 \left[P \left(U_{(j:n)} \geq GF^{-1}(t) \right) \right]^k f(t) dt \\ = \int_0^1 \left[\int_{GF^{-1}(t)}^1 \frac{1}{B(j, n-j+1)} u^{j-1} (1-u)^{n-j} du \right]^k f(t) dt \\ = \int_0^1 \left[\int_{GF^{-1}(t)}^1 \frac{1}{B(j, n-j+1)} u^{j-1} (1-u)^{n-j} du \right]^k \\ \times \frac{m!}{(a-1)! (m-a)!} t^{a-1} (1-t)^{m-a} dt \\ = \int_0^1 \left[\frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} \times \right. \\ \left. (1 - GF^{-1}(t)^{(j+h)}) \right]^k \frac{m! t^{a-1} (1-t)^{m-a}}{(a-1)! (m-a)!} dt \quad (6)$$

$$= D_A^*(k)$$

ve

$$P(N = k) = D_A^*(k-1) - D_A^*(k), \\ k = 1, 2, 3, \dots \text{ ve } D_A^*(0) = 1 \quad (7)$$

dır. Süreç kontrol altındayken çalışma uzunluğunun dağılımı

$$P(N = k) = D_A(k-1) - D_A(k), \\ k = 1, 2, 3, \dots \text{ ve } D_A(0) = 1 \quad (8)$$

olmak üzere (6) eşitliğinde $F = G$ ve $GF^{-1}(t) = FF^{-1}(t) = t$ olacağından

$$D_A(k) = \int_0^1 \left[\frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} \right. \\ \left. (1-t)^{(j+h)} \right]^k \frac{m!}{(a-1)! (m-a)!} t^{a-1} (1-t)^{m-a} dt \quad (9)$$

olarak elde edilir. Ortalama çalışma uzunluğu ise

$$ARL = \sum_{k=0}^{\infty} E_{X_{(a:m)}} (p_A(x)^k) = \sum_{k=0}^{\infty} D_A^*(k)$$

dir. (6) eşitliği kullanılarak

$$ARL = \sum_{k=0}^{\infty} \int_0^1 \left[\frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} \right. \\ \left. (1 - GF^{-1}(t)^{(j+h)}) \right]^k \frac{m! t^{a-1} (1-t)^{m-a}}{(a-1)! (m-a)!} dt \quad (10)$$

$$C_A(t, j, n, F, G) = \frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} \\ \times [1 - GF^{-1}(t)^{(j+h)}]$$

olmak üzere

$$ARL = \int_0^1 \sum_{k=0}^{\infty} (C_A(t, j, n, F, G))^k \\ \times \frac{m!}{(a-1)! (m-a)!} t^{a-1} (1-t)^{m-a} dt \\ ARL = \int_0^1 [1 - C_A(t, j, n, F, G)]^{-1} \\ \times \frac{m!}{(a-1)! (m-a)!} t^{a-1} (1-t)^{m-a} dt \quad (11)$$

elde edilir. Süreç kontrol altındayken yani $H_0: F = G$ olması durumunda (10) eşitliğinden

$$ARL_0 = \sum_{k=0}^{\infty} D(k) = \int_0^1 [1 - C_A(t, j, n)]^{-1} \\ \times \frac{m!}{(a-1)! (m-a)!} t^{a-1} (1-t)^{m-a} dt \quad (12)$$

olarak bulunur. Burada

$$C_A(t, j, n) = \frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} (1-t)^{(j+h)},$$

dir.

ARL_0 ' in sonlu olması için m, n, a ve j sabitleri üzerinde belirli koşullar vardır. Chakraborti, S., Van

der Laan, P., Van de Wiel, M. A.'ın çalışmasında ARL_0 'ın sonlu olması için gerek ve yeter koşulun $(m - b) - (n - j) > 0$ olduğu ispatlanmıştır [11].

Aşağıdaki tablolar ön istatistiği kullanılarak oluşturulan medyan kontrol kartları için sırasıyla $m = 50, 100, 250, 500, 750, 1000$; $n = 5, 11, 15, 25, 31$; $P_0 = 0.95, 0.99, 0.9973$ değerleri için a (2 eşitliğinden), yanlış alarm oranı (FAR) (5 eşitliğinden) ve ortalama çalışma uzunluğu (ARL_0) (12 eşitliğinden) hesaplanmıştır.

3.4. Üst Kontrol Limiti

Tek taraflı kontrol limitlerin alt kontrol limiti $ÜKL = X_{b:m}$, $1 \leq b \leq m$ olarak alınır. Burada b değeri önceden belirlenmiş $1 - P_0$ yanlış alarm oranına bağlı olarak

$$P(Y_{j:n} \geq X_{b:m}) = P(b \leq W_j \leq m) \leq (1 - P_0) \quad (13)$$

Tablo 2. Süreç kontrol altındayken medyan kontrol kartı için seçilen keyfi m, n ve $P_0 = 0.95$ değerlerine göre belirlenen $AKL = X_a$ değerleri için hesaplanan FAR ve ARL_0 değerlerinin tablosu

P_0	n	j		Referans örneklem hacmi - m					
				50	100	250	500	750	1000
0.95	5	3	(a)	(10)	(19)	(47)	(95)	(142)	(189)
			FAR	0.0492	0.0466	0.0476	0.0497	0.0495	0.0494
			ARL	29.54	25.77	22.55	20.8	20.65	20.58
0.95	11	6	(a)	(13)	(27)	(68)	(135)	(203)	(271)
			FAR	0.039	0.0477	0.05	0.049	0.0493	0.0496
			ARL	79.09	32.59	23.42	22.22	21.35	20.93
0.95	15	8	(a)	(15)	(30)	(75)	(149)	(224)	(299)
			FAR	0.0497	0.05	0.05	0.048	0.0489	0.0492
			ARL	91.05	36.85	24.93	23.13	22.01	21.89
0.95	21	11	(a)	(16)	(31)	(81)	(163)	(245)	(327)
			FAR	0.047	0.045	0.0473	0.0486	0.049	0.0492
			ARL	306.54	59.34	54.85	24.17	22.66	21.96
0.95	25	13	(a)	(16)	(33)	(85)	(170)	(255)	(340)
			FAR	0.038	0.0433	0.05	0.0497	0.0493	0.049
			ARL	1621.55	82.29	29.40	24.42	23.05	22.4
0.95	31	16	(a)	(17)	(35)	(88)	(177)	(266)	(355)
			FAR	0.044	0.0497	0.0481	0.0487	0.0489	0.0491
			ARL	597.34	98.62	35.15	26.24	23.99	22.98

Tablo 3 -Süreç kontrol altındayken medyan kontrol kartı için seçilen keyfi m, n ve $P_0 = 0.99$ değerlerine göre belirlenen $AKL = X_a$ değerleri için hesaplanan FAR ve ARL_0 değerlerinin tablosu

P_0	n	j		Referans örneklem hacmi - m					
				50	100	250	500	750	1000
0.99	5	3	(a)	(5)	(11)	(27)	(53)	(79)	(105)
			FAR	0.0007	0.01	0.01	0.0099	0.0098	0.0097
			ARL	522.86	153.07	115.09	109.58	107.84	107
0.99	11	6	(a)	(9)	(19)	(49)	(96)	(145)	(192)
			FAR	0.0079	0.0097	0.01	0.0097	0.01	0.0098
			ARL	1676.3	262.9	127.45	121.99	111.94	110.22
0.99	15	8	(a)	(11)	(22)	(57)	(113)	(170)	(228)
			FAR	0.01	0.0093	0.01	0.0096	0.0097	0.01
			ARL	2935.23	401.91	148.48	129.49	119.33	111.46
0.99	21	11	(a)	(12)	(25)	(65)	(131)	(197)	(263)
			FAR	0.0082	0.0088	0.01	0.0099	0.01	0.01
			ARL	25069.5	816.51	188.78	135.54	122.31	116.34
0.99	25	13	(a)	(13)	(27)	(69)	(139)	(209)	(280)
			FAR	0.0097	0.01	0.0099	0.0098	0.0097	0.01
			ARL	∞	1019.31	216.66	147.21	130.76	119.44
0.99	31	16	(a)	(14)	(29)	(74)	(149)	(224)	(299)
			FAR	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0098	0.0098
			ARL	2758.56	1372.1	251.24	157.23	136.49	127.48

Tablo 4. Süreç kontrol altındayken medyan kontrol kartı için seçilen keyfi m , n ve $P_0 = 0.9973$ değerlerine göre belirlenen $AKL = X_a$ değerleri için hesaplanan FAR ve ARL_0 değerlerinin tablosu

P_0	n	j	Referans örneklem hacmi - m						
			50	100	250	500	750	1000	
0.9973	5	3	(a)	(3)	(6)	(17)	(33)	(50)	(67)
			FAR	0.0015	0.0018	0,0027	0,0026	0,0026	0,0027
			ARL	∞	1694.72	501.12	457.98	418.63	400.72
0.9973	11	6	(a)	(7)	(14)	(216)	(429)	(641)	(810)
			FAR	0.0025	0.0023	0.0027	0.0026	0.0027	0.0026
			ARL	34075.1	2206.82	879.6	583.6	488.9	465.7
0.9973	15	8	(a)	(8)	(17)	(45)	(92)	(139)	(185)
			FAR	0.0019	0.0021	0.0024	0.0026	0.0027	0.0026
			ARL	∞	4315.23	827.2	528.49	460.26	446.48
0.9973	21	11	(a)	(10)	(21)	(54)	(111)	(167)	(223)
			FAR	0.0026	0.0025	0.0024	0.0027	0.0027	0.0026
			ARL	∞	26386.9	1097.94	580.19	504.40	471.27
0.9973	25	13	(a)	(10)	(22)	(59)	(120)	(181)	(242)
			FAR	0.0016	0.002	0.0026	0.0026	0.0027	0.0027
			ARL	∞	26386.9	1194.88	640.84	531.02	484.97
0.9973	31	16	(a)	(11)	(25)	(64)	(131)	(197)	(263)
			FAR	0.0018	0.002	0.0025	0.0027	0.0026	0.0027
			ARL	4519.68	4028.62	1670.01	712.81	589.34	514.55

eşitsizliğinden bulunabilir [12],[3]. Süreç kontrol altında iken $Y_{j:n} \leq X_{b:m}$ olayının olasılığı

$$\begin{aligned}
 p_U &= P(Y_{j:n} \leq X_{b:m}) = E_{X_{b:m}} P(Y_{j:n} \leq X_{b:m} | X_{b:m}) \\
 &= E_{X_{b:m}} P(G(Y_{j:n}) \leq G(X_{b:m}) | X_{b:m}) \\
 &= E_{U_{b:m}} P(U_{j:n} \geq GF^{-1}(U_{b:m}) | U_{b:m}) \\
 &= \int_0^1 P(U_{j:n} \geq GF^{-1}(t) | U_{b:m} = t) f(t) dt \\
 &= \int_0^1 \left(\int_0^{GF^{-1}(t)} \frac{1}{B(j, n-j+1)} u^{j-1} (1-u)^{n-j} du \right) f(t) dt
 \end{aligned}$$

$f(t)$, $U_{b:m}$ sıra istatistiğinin olasılık yoğunluk fonksiyonu olmak üzere

$$\begin{aligned}
 p_U &= \int_0^1 \left[\frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} \times \right. \\
 &\quad \left. (GF^{-1}(t))^{(j+h)} \right] \frac{m! t^{b-1} (1-t)^{m-b}}{(b-1)! (m-b)!} dt \tag{14}
 \end{aligned}$$

elde edilir. $H_0: F(x) = G(x)$ hipotezinin doğruluğu altında $GF^{-1}(t) = FF^{-1}(t) = t$ olacağından p_U olasılığı

$$\begin{aligned}
 p_U &= \int_0^1 \left[\frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} \times \right. \\
 &\quad \left. (t)^{(j+h)} \right] \frac{m!}{(a-1)! (m-a)!} t^{a-1} (1-t)^{m-a} dt \tag{15}
 \end{aligned}$$

olacaktır. Bu durumda yanlış alarm oranı

$$\begin{aligned}
 FAR &= 1 - \int_0^1 \left[\frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \right. \\
 &\quad \left. \times \binom{n-j}{h} (t)^{(j+h)} \right] \frac{m! t^{b-1} (1-t)^{m-b}}{(b-1)! (m-b)!} dt \tag{16}
 \end{aligned}$$

şekindedir.

Çalışma uzunluğu rastgele değişkeni N 'in dağılımı, $p_U = P(Y_{j:n} \leq X_{b:m})$ olasılığı ile geometrik dağılımına sahiptir. N rastgele değişkeninin dağılımı

$$\begin{aligned}
 P(N = k) &= E_{X_{b:m}} \left((p_U(x))^{k-1} - (p_U(x))^k \right), \\
 k &= 1, 2, 3, \dots
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{X_{b:m}} (p_U(x))^k &= E_{U_{b:m}} \left[P(U_{j:n} \leq GF^{-1}(U_{(b:m)})) \right]^k \\
 &= \int_0^1 \left[P(U_{j:n} \leq GF^{-1}(t)) \right]^k f(t) dt \\
 &= \int_0^1 \left[\int_0^{GF^{-1}(t)} \frac{1}{B(j, n-j+1)} u^{j-1} (1-u)^{n-j} du \right]^k f(t) dt \\
 &= \int_0^1 \left[\int_0^{GF^{-1}(t)} \frac{1}{B(j, n-j+1)} u^{j-1} (1-u)^{n-j} du \right]^k \\
 &\quad \times \frac{m!}{(b-1)! (m-b)!} t^{b-1} (1-t)^{m-b} dt
 \end{aligned}$$

$$= \int_0^1 \left[\frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} \right. \\ \left. \times (GF^{-1}(t))^{(j+h)} \right]^k \frac{m! t^{b-1} (1-t)^{m-b}}{(b-1)!(m-b)!} dt \\ = D_U^*(k) \tag{17}$$

$$P(N = k) = D_U(k-1) - D_U(k), \\ k = 1, 2, 3, \dots \text{ ve } D_U(0) = 1 \tag{19}$$

olmak üzere (17) eşitliğinde $F = G$ ve $GF^{-1}(t) = FF^{-1}(t) = t$ olduğundan

$$P(N = k) = D_U^*(k-1) - D_U^*(k), \\ k = 1, 2, 3, \dots \text{ ve } D_U^*(0) = 1 \tag{18}$$

$$D_U(k) = \int_0^1 \left[\frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} (t)^{(j+h)} \right]^k \\ \times \frac{m!}{(b-1)!(m-b)!} t^{b-1} (1-t)^{m-b} dt \tag{20}$$

dır. Süreç kontrol altındayken çalışma uzunluğunun dağılımı

Tablo 5. Süreç kontrol altındayken medyan kontrol kartı için seçilen keyfi m, n ve $P_0 = 0.95$ değerlerine göre belirlenen $AKL = X_{b,m}$ değerleri için hesaplanan FAR ve ARL_0 değerlerinin tablosu

Referans örneklem hacmi m									
P_0	n	j		50	100	250	500	750	1000
0.95	5	3	(b)	(43)	(84)	(206)	(408)	(611)	(814)
			FAR	0.0492	0.0465	0.0476	0.0497	0.0495	0.0494
			ARL	635.7	214.9	139.1	114.5	113.1	104.6
0.95	11	6	(b)	(40)	(76)	(186)	(368)	(550)	(732)
			FAR	0.039	0.0477	0.0469	0.0487	0.0494	0.0497
			ARL	277.8	49.9	29.2	23.8	22.4	21.6
0.95	15	8	(b)	(38)	(73)	(179)	(354)	(529)	(704)
			FAR	0.0497	0.057	0.047	0.0484	0.0489	0.0492
			ARL	∞	60.1	32	25	23.2	22.3
0.95	21	11	(b)	(37)	(71)	(172)	(340)	(508)	(676)
			FAR	0.047	0.045	0.0473	0.0486	0.0493	0.0492
			ARL	∞	111.7	36.1	26.5	114	22.9
0.95	25	13	(b)	(37)	(70)	(169)	(333)	(498)	(663)
			FAR	0.0378	0.0433	0.0465	0.0496	0.0493	0.0491
			ARL	1745.5	170.7	40.5	26.9	24.6	23.5
0.95	31	16	(b)	(36)	(68)	(165)	(326)	(487)	(648)
			FAR	0.044	0.0497	0.0481	0.0487	0.0489	0.0491
			ARL	4041.4	223.9	44.7	29.3	25.7	24.2

Tablo 6. Süreç kontrol altındayken medyan kontrol kartı için seçilen keyfi m, n ve $P_0 = 0.99$ değerlerine göre belirlenen $AKL = X_{b,m}$ değerleri için hesaplanan FAR ve ARL_0 değerlerinin tablosu

Referans örneklem hacmi m									
P_0	n	j		50	100	250	500	750	1000
0.99	5	3	(b)	(48)	(92)	(227)	(458)	(674)	(898)
			FAR	0.0007	0.01	0.0092	0.0099	0.0098	0.0097
			ARL	275351	317.5	165.7	122.7	116.2	113.1
0.99	11	6	(b)	(44)	(84)	(205)	(407)	(608)	(810)
			FAR	0.0079	0.0097	0.0098	0.0097	0.0099	0.0098
			ARL	∞	549.9	180.66	136.3	120.3	116.3
0.99	15	8	(b)	(42)	(81)	(197)	(390)	(529)	(775)
			FAR	0.01	0.0093	0.0094	0.0096	0.0097	0.001
			ARL	∞	224.8	217	145.8	23.2	118
0.99	21	11	(b)	(41)	(78)	(188)	(340)	(556)	(740)
			FAR	0.0082	0.0088	0.01	0.0099	0.01	0.001
			ARL	∞	∞	251	154.4	133.1	123.8
0.99	25	13	(b)	(40)	(76)	(184)	(364)	(544)	(724)
			FAR	0.0097	0.01	0.0099	0.0098	0.0097	0.0097
			ARL	458368	2999.9	294.8	169.3	143.1	132
0.99	31	16	(b)	(39)	(75)	(180)	(354)	(529)	(704)
			FAR	0.01	0.008	0.0091	0.01	0.0098	0.0098
			ARL	9477	5395.3	422	183.1	150.5	137

Tablo 7. -Süreç kontrol altındayken medyan kontrol kartı için seçilen keyfi m, n ve $P_0 = 0.9973$ değerlerine göre belirlenen $AKL = X_{b,m}$ değerleri için hesaplanan FAR ve ARL_0 değerlerinin tablosu

P_0	n	j	Referans örneklem hacmi m						
			50	100	250	500	750	1000	
0.9973	5	3	(b)	(50)	(97)	(237)	(470)	(703)	(936)
			FAR	0.0015	0.0018	0,0023	0,0026	0,0026	0,0027
			ARL	∞	16423.2	962.8	556	473.7	438.7
0.9973	11	6	(b)	(46)	(89)	(216)	(429)	(641)	(810)
			FAR	0.0025	0.0023	0.0027	0.0026	0.0027	0.0026
			ARL	∞	7428.6	879.6	583.6	488.9	465.7
0.9973	15	8	(b)	(45)	(86)	(208)	(411)	(614)	(818)
			FAR	0.0019	0.0021	0.0025	0.0026	0.0027	0.0026
			ARL	∞	∞	1170.9	617.5	508.8	481
0.9973	21	11	(b)	(43)	(85)	(199)	(392)	(586)	(740)
			FAR	0.0026	0.0025	0.0024	0.0027	0.0027	0.0026
			ARL	∞	∞	1603.4	685.1	561.5	510.1
0.9973	25	13	(b)	(43)	(81)	(194)	(383)	(572)	(761)
			FAR	0.0016	0.002	0.0026	0.0026	0.0027	0.0027
			ARL	∞	12185.2	1778.5	763.9	594.3	526.9
0.9973	31	16	(b)	(42)	(79)	(180)	(372)	(556)	(739)
			FAR	0.0017	0.0021	0.0025	0.0027	0.0026	0.0027
			ARL	∞	23219.9	2591	861.4	665.3	562.3

elde edilir. Ortalama çalışma uzunluğu ise

$$ARL = \sum_{k=0}^{\infty} E_{X_{b,m}}(p_U(x)^k) = \sum_{k=0}^{\infty} D_U^*(k)$$

dır. (17) eşitliği kullanılarak

$$ARL = \sum_{k=0}^{\infty} \int_0^1 \left[\frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} (GF^{-1}(t))^{(j+h)} \right]^k \times \frac{m! t^{b-1} (1-t)^{m-b}}{(b-1)! (m-b)!} dt$$

$$C_U(t, j, n, F, G) = \frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} (GF^{-1}(t))^{(j+h)}$$

olmak üzere

$$ARL = \int_0^1 \sum_{k=0}^{\infty} (C_U(t, j, n, F, G))^k \frac{m! t^{b-1} (1-t)^{m-b}}{(b-1)! (m-b)!} dt$$

$$ARL = \int_0^1 [1 - C_U(t, j, n, F, G)]^{-1} \times \frac{m! t^{b-1} (1-t)^{m-b}}{(b-1)! (m-b)!} dt$$

dır. Süreç kontrol altındayken yani $H_0: F = G$ olması durumunda (21) eşitliğinden

$$ARL_0 = \sum_{k=0}^{\infty} D(k) = \int_0^1 [1 - C_U(t, j, n)]^{-1} \times \frac{m! t^{b-1} (1-t)^{m-b}}{(b-1)! (m-b)!} dt$$

biçiminde elde edilir. Burada

$$C(t, j, n) = \frac{1}{B(j, n-j+1)} \sum_{h=0}^{n-j} \frac{(-1)^h}{j+h} \binom{n-j}{h} (t)^{(j+h)}, \text{ dir.}$$

Aşağıdaki tablolar ön istatistiğine dayalı olarak oluşturulan medyan kontrol kartları için sırasıyla $m = 50, 100, 250, 500, 750, 1000$; $n = 5, 11, 15, 25, 31$; $P_0 = 0.95, 0.99, 0.9973$ için b (13 formülünden), yanlış alarm oranı (FAR) (16 formülünden) ve ortalama Çalışma uzunluğu ARL_0 (23 formülünden) değerleri hesaplanmıştır.

Ön istatistiği kullanılarak oluşturulan kontrol kartları tablolarına bakıldığında referans örneklem boyutunun büyük değerleri için ARL_0 değerleri oldukça iyi sonuç vermiştir. Ancak özellikle m 'nin 100'den küçük olması durumunda ARL_0 değerleri iyi sonuç vermemiştir. Bu problemi ortadan kaldırmak için b 'nin seçiminde önceden seçilen $ARL_0 = 500$ değeri kullanılarak farklı referans örneklem boyutları için regresyon denklemi oluşturulabilir [7]. $n = 5, j = 3$ için farklı m değerleri için b 'nin seçiminde kullanılacak regresyon denklemi olarak

$$\hat{b} = -1.1468 + 0.940206m$$

denkleminin kullanılması önerilir. Tablo 8'de ise seçilen bazı çarpık, hafif ya da ağır kuyruklu dağılımlar için süreç kontrol altında iken medyan kontrol kartları ve Shewhart kontrol kartları için ARL_0 değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 8. Bazı dağılımlar için ARL_0 değerleri

Dağılımlar	Medyan kontrol kartı	Shewhart kontrol kartı **
<i>Normal</i> (0,1)	505.52	500
<i>Laplace</i> (0, $1/\sqrt{2}$)	505.52	251.04
<i>Gamma</i> (1,1)	505.52	89.29
<i>Gamma</i> (4, 1/2)	505.52	158.79
<i>Cauchy</i> ($\lambda = 0.2605$)	505.52	16.38
<i>Uniform</i> (0, $\sqrt{3}$)	505.52	2112.01

* $m = 1000, n = 5, j = 3, b = 939, P_0 = 0.998, **n = 5,$

Tablodan da görüldüğü gibi bazı çarpık ve hafif ya da ağır kuyruklu dağılımlar için ARL_0 değerleri hesaplanmıştır. Dağılımdan bağımsız olan ön istatistiği kullanılarak oluşturulan kontrol kartlarından elde edilen ARL_0 değerleri değişmemiştir. Fakat Shewhart ortalama kontrol kartları bu tür dağılımlardan olumsuz etkilenmekte elde edilen ARL_0 değerleri iyi sonuç vermemektedir.

4. Uygulama

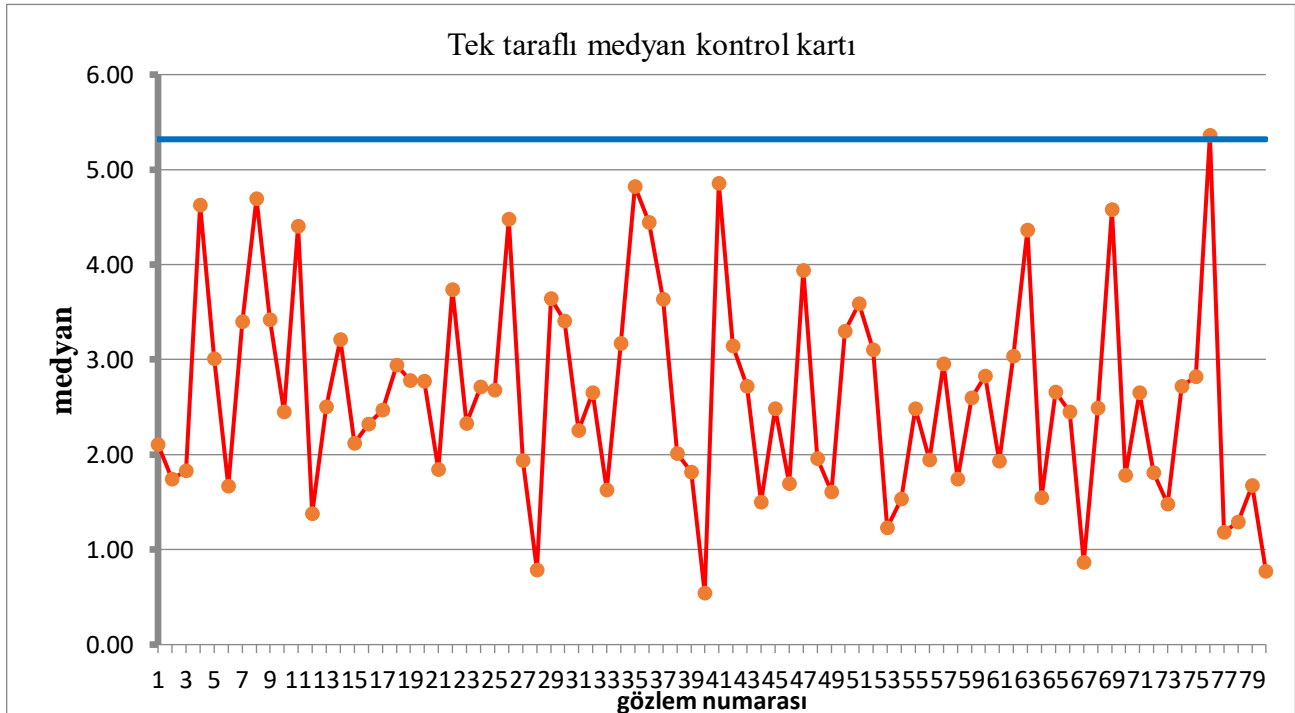
Bu kesimde yukarıda verilen tabloların nasıl kullanılacağını açıklamak için bir veri seti üzerinde uygulama yapılmıştır. Keyfi m, n ve P_0 değerlerinin kombinasyonlarına göre bulunan a, b değerlerini Tablo 5'den okuyarak medyan kontrol kartının çizimine örnek vermek için bir veri seti üzerinde uygulama yapılmıştır. Bunun için Dou and Ping den alınan akışkanlık verisi kullanılmıştır [16]. Bazı

kimyasalların üreticisi, belirli bir kimyasal maddenin akışkanlıklarını üretim hattından izlemek istemektedir. Süreçte akışkanlığın artmasına neden olan bozuklukları tespit etmenin önemli olduğunu varsayalım. Akışkanlık ne kadar yüksekse sıvı o kadar yavaş akar. Suyun akışkanlığı 0.894, zeytinyağının ki 81, balın ki 2000-10000 arasındadır. Veri setini elde edebilmek için akışkanlığın rastgele ölçümleri, alt gruplar elde edilinceye kadar arka arkaya seçilir (ardışık gözlemler, Dou and Ping) den her satır boyunca okunarak elde edilir [16].

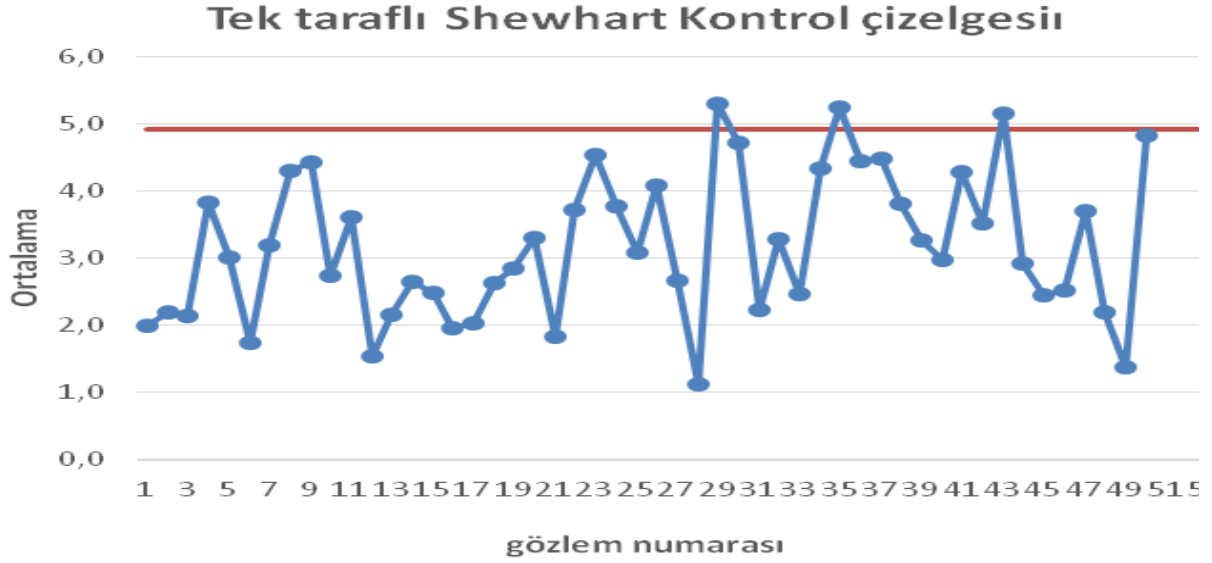
Bu veri seti için Minitab 17'de yapılan analizler sonucunda $\bar{x} = 3.17933$, $st. sapma = 2.47510$, $medyan = 2,6752$, $min = 0,0205$, $maks = 11,6354$, $\text{çarpıklık katsayısı} = 1,23809$, $\text{basıklık katsayısı} = 1,48083$ olarak bulunmuştur. Anderson Darling uyum iyiliği sonuçlarına göre veri setinin Normal dağılıma uymadığı görülmüştür ($AD = 6.241$, $p\text{-değeri} < 0,005$). Dolayısıyla bu verilere klasik Shewhart kontrol kartlarını çizmek uygun değildir, çünkü I. tip hata yapma olasılığı ideal değerden farklı olacaktır.

Referans örneklemeden $\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^{250} \bar{x}_i}{250} = 3.1793344$, $\bar{R} = 5.47123$ ve $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{5.47123}{2.326} = 2.3522$ olarak hesaplanmıştır ve Tek yanlı Shewhart kontrol grafiğinin üst limiti $\bar{U} = \bar{\bar{x}} + 1.645 \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = 4.90977$ olarak elde edilir. d_2 değeri, Montgomery'den okunan bir kontrol limiti katsayısıdır [2].

$m = 50 \times 5 = 250$, $n = 5$, $j = 3$ için simetrik parametrik olmayan kontrol kartları için $P_0 = 0.95$ için Tablo 5'den $b = 206$ olarak okunur. Buna göre referans örneklemeden $\bar{U} = X_{206;250} = 5.319$ ve olarak bulunur.



Şekil 4. Akışkanlık verisi için tek taraflı medyan kontrol kartı



Şekil 5. Akışkanlık verisi için tek taraflı Shewhart kontrol kartı

Yukarıda verilen veri seti kullanılarak medyan kontrol kartı ve Shewhart kontrol kartı çizilerek sırasıyla Şekil-4 ve Şekil-5'de verilmiştir. Faz I de 50 örneklem kullanılmıştır. Faz II'de 30 örneklem kullanılmıştır. Medyan kontrol kartı için $\bar{U}KL = X_{206:250} = 5.319$ olarak Shewhart kontrol kartı için $\bar{U}KL = 4.90977$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre Shewhart kontrol kartı için bulunan kontrol limitlerinin daha dar olduğu görülmektedir. Shewhart kontrol kartı çiziminde kitle standart sapmasının tahmin edicisi olarak örneklem genişliğinden yararlanılmıştır. Tek yanlı medyan kontrol kartı için Tablo 5'den $\alpha = 0.05$ için $FAR = 0.0476$ ve $ARL = 139.1$ olduğu okunur.

Şekil 4'de görülen medyan kontrol kartında Faz I'de süreç kontrol altındadır. Bulunan kontrol limitleri kullanılarak Faz II aşamasına geçilmiştir. Faz II'de yer alan 77. sıradaki medyan değerinin üst kontrol limiti dışına çıktığı gözlenmiştir. Bu durum süreçte bir kaymanın olduğuna işaret etmektedir. Veri setinde 77. sırada bulunan örneklemin elde edilme süreci tekrardan değerlendirilerek sürecin iyileştirilmesi için gerekli çalışmaların yapılması ilgili işletmeye önerilir.

Şekil 5'de ise klasik Shewhart ortalama kontrol kartı yer almaktadır. Grafikte Faz I aşamasında süreç kontrol dışına çıkmış olarak görülmektedir. Bu nedenle Faz II'ye geçilmemiştir. Normal dağılıma sahip olmayan akışkanlık verisi için Shewhart kontrol kartının yanıltıcı olduğu görülmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Bir üretim sürecinde normal dağılım varsayımının şüpheli olduğu durumda ve çarpık ya da ağır kuyruklu dağılım söz konusu olduğunda tek taraflı Shewhart kontrol kartı yerine ön istatistiklere dayalı

ve dağılımdan bağımsız olan tek taraflı medyan kontrol kartlarının kullanılması önerilir. Bir imalat hattında sürecin istatistiksel kontrolü için yapılan denetlemeler ile verimliliği artırmak, yüksek kar elde etmek ve zaman tasarrufu elde etmek açısından doğru kontrol kartının seçilmesi çok önemlidir. Bu çalışmada dağılımdan bağımsız tek taraflı kontrol kartlarının kullanımı için farklı P_0 , m , n değerleri için sıra istatistiklerine dayalı kontrol limitlerinin ARL ve FAR değerleri hesaplanmış ve orijinal tablolar olarak verilmiştir. Ayrıca bazı çarpık ve ağır kuyruklu dağılımlar için ARL_0 değerleri hesaplanmıştır. Ülkemizde üretim yapan ve istatistiksel kalite kontrol sürecine önem veren sanayi kuruluşları için hazırlanan bu tablolar büyük kullanım kolaylığı sağlayacaktır.

Kaynakça

- [1] Shewhart, W. A. 1926. Quality Control Charts. Bell System Technical Journal, 5(4), 593-603.
- [2] Montgomery, D. C. 1991. Introduction to Statistical Quality Control. 2th Edition, John Wiley, New York, 674s.
- [3] Chakraborti, S., Graham, M. A. 2019. Nonparametric Statistical Process Control. 1st edition. John Wiley&Sons Ltd, 424s.
- [4] Bakir, S. T. Reynolds, M. R. Jr. 1979. A Nonparametric Procedure For Process Control Based on Within-Group Ranking. Technometrics, 21(2), 175- 183.
- [5] Amin, R. W., Reynolds, M. R. Jr., Bakir, S. T. 1995. Nonparametric Quality Control Charts Based on The Sign Statistic. Communications in Statistics-Theory and Methods, 24(6), 1579-1623.
- [6] Bakir, S. T. 2006. Distribution-Free Quality Control Charts Based on Signed- Rank-Like

- Statistics. Communications in Statistics- Theory and Methods, 35(4), 743-757.
- [7] Janacek, G. J. Meikle, S. E. 1997. Control Charts Based on Medians. The Statistician, 46(1), 19-31.
- [8] Balakrishnan, N., Triantafyllou, I. S., Koutras, M. V. 2009. Nonparametric Control Charts Based on Runs and Wilcoxon-Type Rank-Sum Statistics. Journal of Statistical Planning and Inference, 139(9), 3177-3192.
- [9] Balakrishnan, N. Triantafyllou, I. S., Koutras, M. V. 2010. A Distribution-Free Control Chart Based on Order Statistics. Communications in Statistics-Theory and Methods, 39(20), 3652-3677.
- [10] Chakraborti, V. L., Bakir, S T. 2001. Nonparametric Control Charts: An Overview And Some Results, Journal of Quality Technology, 33(3), 304- 315.
- [11] Chakraborti, S., Van der Laan, P., Van de Wiel, M. A. 2004. A Class of Distribution-Free Control Charts. Journal of The Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), 53(3), 443-462.
- [12] Triantafyllou, I. S. 2018a. Nonparametric Control Charts Based on Order Statistics: Some Advances. Communications In Statistics-Simulation and Computation, 47(9), 2684-2702.
- [13] Triantafyllou, I. S. 2018b. A New Distribution-Free Control Scheme Based on Order Statistics. Journal of Nonparametric Statistics, 1-30.
- [14] Shongwe , S. C., Malela-Majika, J. C. Rapoo E. M. 2019. One-Sided And Two-Sided W-Of-W Runs-Rules Schemes: an Overall Performance Perspective and the Unified Run-Length Derivations. Journal of Probability and Statistics, 6187060.
- [15] Turhan, N. Yurt Oncel S. 2019. Süreç Ortalamasının İzlenmesi için Sıra İstatistiklerine Dayalı Kalite Kontrol Kartları. İstatistikçiler Dergisi:İstatistik ve Aktüerya, 12(2), 72-89.
- [16] Dou, Y., Ping S. 2002. One-Sided Control Charts for the Mean of Positively Skewed Distributions. Total Quality Manage, 13(7), 1021-1033.

Kentsel Estetiğin Muratpaşa İlçesi Örneğinde İrdelenmesi

Ayşe Gülnur HAMMALOĞLU*¹, Murat AKTEN²

^{1,2}Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 21.02.2020, Kabul / Accepted: 24.09.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Kent,
Algı,
Estetik,
Kentsel estetik,
Muratpaşa

Özet: Bu çalışmada, çevrenin yalnızca insanın biyolojik gereksinmelerini karşılayan işlevsellik değil, aynı zamanda psikolojik, entelektüel gereksinmelerini de karşılayan estetik nitelikler de taşıması gerektiği hipotezinden yola çıkılarak kentleri oluşturan fiziksel çevrenin niteliklerinin yanı sıra taşıdıkları anlamları ve estetik anlamda nasıl algılandıklarının ortaya konulması hedeflenmiştir. Çalışmanın ana materyalini Antalya İli Muratpaşa İlçesine ait Güllük Caddesi, Cumhuriyet Meydanı ve Kapalı Yol mevkileri oluşturmaktadır. Çalışma alanlarına ait 33 adet fotoğraf kentsel estetiğin irdelenmesi amacıyla kullanılmıştır. Fotoğraflardaki görüntüler üzerinden kentsel estetik konusunda disiplinler arası uzman grubuna (Şehir plancısı, Peyzaj mimarı ve Yapı mimarı) foto anket ve anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra uzman grubu değerlendirmelerine yönelik en çok tercih edilen görüntülere ilişkin mekansal karakteristikler ortaya konulmuştur. Çıkan sonuçlarla, kentsel çevre algısı ve estetiğine yönelik düzenlemeler ve önlemler alınarak, kentin çağdaş yaşamın gereklilikleri ile birlikte uyumu sağlanacak ve böylece yaşanabilir alanlar olarak gelecek kuşaklara aktarılmasına katkı sağlanacaktır.

Urban Aesthetic Research in Muratpasa District

Keywords

City,
Perception,
Aesthetics,
Urban aesthetics,
Muratpaşa

Abstract: In this study, it is hypothesized that the environment should not only have functionality that meets the biological needs of human being-environment relations, but also aesthetic qualities should meet the psychological and intellectual needs. Considering this hypothesis, researched characteristics of the physical environment, their meaning and how they are perceived aesthetically. The main material of the study examined at Güllük Caddesi, Cumhuriyet Meydanı and Kapalı Yol area in Muratpasa district. 33 photographs of the study areas were used for the study of urban aesthetics. A photo questionnaire was conducted to the interdisciplinary group of experts (City planner, Landscape architect and Building architect) on urban aesthetics from images of these photographs. Then, considering these expert group's most preferred images determined spatial distinctives. As a results, arrangements will be made for the perception and aesthetics of the urban environment and the harmony of the city with the requirements of contemporary life will be ensured. Thus, it will contribute to transfer to future generations as habitable area.

1. Giriş

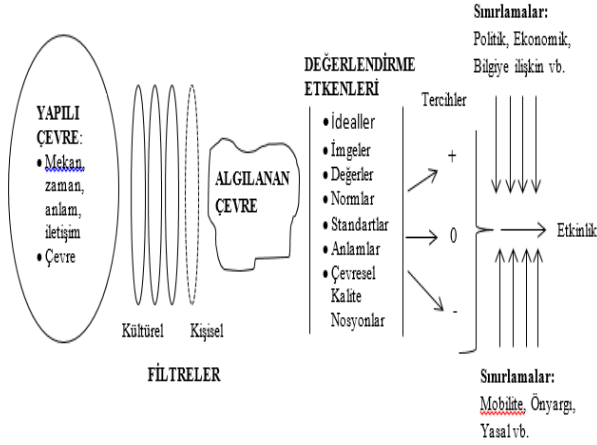
Endüstri devrimi beraberinde kentleşmeyi de getirmiş, kentte bulunan iş imkânları, sosyal ve kültürel olanaklar insanlara cazip gelerek kırdan kente göçü her geçen gün hızlandırmıştır. Modernizm döneminde modern kent unsurlarını yansıtan altyapı çalışmaları yapılmıştır. Yapılan yeni ve gelişimci çalışmalara rağmen birçok problem de ortaya çıkmıştır. Bu sorunları; hızlı kentleşme ile nüfus

yığılmaları, arsa spekülasyonları ve çarpık kentleşme olarak özetlemek mümkündür.

Modernizme tepki olarak ortaya çıkan Postmodernist yaklaşımında ise, modern kentin olumsuz, yorucu, tüketici ve planlamaya dayanan yönlerine vurgu yapılmaktadır. Aslında postmodernizmin diğer alanlarda olduğu gibi, mimarlık ve kentleşme alanında da elle tutulur bir şey söylemediğini, bazı sorunların varlığını saptadığını, ancak gözle görülür kentsel ve toplumsal sorunlara çözüm üretmediğini,

*İlgili yazar: aysegulnurhammaloglu06@gmail.com

değerlendirme süreci için Rapoport'un geliştirdiği model Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Rapoport'un çevresel bir uyara karşı temel değerlendirme süreci modeli [4].

Yukarıdaki bilgiler ışığında çalışmada yöntem olarak anket ve foto-anket yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada foto-anket uygulamasının kullanılmasının temel nedeni hızlı, güvenilir ve katılımcıların fikirlerini daha rahat belirtecekleri ortamı sağlamasıdır. Katılımcılara yanıtlarını aktarabilecekleri bir form oluşturularak foto-anketler değerlendirilmiştir.

Anketlerin içeriği, katılımcıların demografik özelliklerini içeren sorular ve çalışma alanlarını kullanma tercihlerini yansıtan sorularla, çalışma alanındaki mekânsal öğelere yönelik estetik niteliği ortaya koyan fotoğraf analizlerinden oluşmaktadır. Öncelikle alanının resimleri profesyonel makine yardımıyla çekilmiştir. Fotoğrafların çekiminde mevsimsel döngü, alanın kullanım yoğunluğunu ve kişilerin psikolojileri ve algılarını etkilediği için çekim ve alan analizleri, 6 ay ara ile kış ve yaz aylarında gerçekleştirilmiştir.

Uzman anket katılımcıları peyzaj mimarlığı, yapı mimarlığı, şehir ve bölge planlama alanında eğitim görmüş ve eğitimine devam eden katılımcılardan oluşmaktadır. Kentsel estetik konusu interdisipliner çalışma gerektirdiği ve bu üç disiplinin de konusu olduğu için uzman anket katılımcıları üç disiplinden de seçilmiştir.

Anket yönteminde 100 uzman anket katılımcısına, 38 soru yöneltilmiştir (Ek A). Anket demografik özellikler, alan kullanıcı izlenimleri, alan kullanım amaçları, kullanıcı istekleri ve alanda istenen düzenlemeleri kapsamaktadır. Anket soruları üç ayrı alan için de yapılmış ve böylece alanları kıyaslama imkanı bulunmuştur. Anket soruları belirlenirken yerli ve yabancı literatür taraması yapılmış ve bu çalışmalardan yararlanarak çalışmanın temeli oluşturulmuştur.

Foto-anket yöntemi ise uzman anket katılımcılarına uygulanmıştır. Alanda yerinde gözlem yapıldıktan sonra fotoğraflar çekilmiştir. Fotoğraf çekimi esnasında objektif davranılmış katılımcıları etkileyebilecek herhangi bir eğilim gösterilmemiştir. Fotoğraf çekimlerinde alanın görsel niteliğini daha iyi ortaya koymak için profesyonel makine olan Canon EOS 5D Mark IV kullanılmıştır. Araştırmada ele alınan alanı görsel açıdan ifade edecek şekilde 500 adet fotoğraf çekilmiştir. Elde edilen bu fotoğraflar arasından uzman kişi eşliğinde foto-ankette yer alan 33 fotoğraftan 29'u seçilmiştir (Ek B). Kalan 4 fotoğraf ise alan dışı seçilmiştir. Anket uzman katılımcılarından alan dışı 4 fotoğraf ile alandan alınan diğer 4 fotoğrafı ikili gruplar halinde kıyaslanarak yanıt vermeleri istenmiştir. Akabinde yer alan fotoğraflar ise Güllük Caddesi, Cumhuriyet Meydanı ve Kapalı Yol mevkinde yer alan benzer kullanımları içermektedir. Yine uzman anket katılımcılarından benzer kullanımları kıyaslayarak yanıt vermeleri ve her üç fotoğrafı kendi arasında mukayese ederek estetik açısından görüşlerini sunmaları istenmiştir. Fotoğraflar sunulurken katılımcılardan fotoğrafları hoş/sıkıcı, ilginç/ilginç değil, farklı/monoton, abartılı/silik, uyumlu/uyumsuz olarak 7 li Likert Ölçeği kullanılarak değerlendirmeleri istenmiştir. Bu parametreler birbirinin zıttı konumundadır. Örneğin 1, 2, 3 oyları hoş puanını belirtirken 0 oyu fikrim yok -1,-2,-3 oyları ise sıkıcı puanını belirlemektedir. Dolayısıyla 5 parametre kullanarak 7'li Likert Ölçeğinde, 5 parametrenin zıtları hakkında da bilgi sahibi olunmuştur. Dolayısıyla fotoğrafları 10 parametrede değerlendirme fırsatı elde edilmiştir.

Değerlendirme yapılırken kullanılan puanlama şablonu tabloda verilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Parametre puanlama değerlendirme şablonu

	Hoş	İlginç	Farklı	Abartılı	Uyumlu
3	Çok hoş	Çok ilginç	Çok farklı	Çok abartılı	Çok uyumlu
2	Hoş	İlginç	Farklı	Abartılı	Uyumlu
1	Az hoş	Az ilginç	Az farklı	Az abartılı	Az uyumlu
0	Fikrim yok	Fikrim yok	Fikrim yok	Fikrim yok	Fikrim yok
-1	Az sıkıcı	Az ilginç değil	Az monoton	Az silik	Az uyumsuz
-2	Sıkıcı	İlginç değil	Monoton	Silik	Uyumsuz
-3	Çok sıkıcı	Çok ilginç değil	Çok Monoton	Çok silik	Çok uyumsuz

3. Bulgular

3.1. Demografik özelliklere ait bulgular

Toplam 100 gönüllü uzman birey araştırma kapsamında anket uygulamasına katılmıştır. Tablo 3'te demografik bilgilere ait kişi sayısı ve yüzde tablosu verilmiştir.

Tablo 3. Demografik bilgilere ait kişi dağılımları ve yüzde tablosu

Demografik Özellikler	Kişi	Yüzde (%)
Cinsiyetiniz?		
Kadın	51	51
Erkek	49	49
Toplam	100	100
Yaşınız?		
18-25	52	52
26-33	36	36
34-41	7	7
42-49	3	3
50-57	1	1
58-65	1	1
65+	0	0
Toplam	100	100
Eğitim durumunuz?		
Lisans (Üniversite)	56	56
Yüksek Lisans	36	36
Doktora	8	8
Toplam	100	100
İş durumunuz?		
Çalışıyor	30	30
Çalışmıyor	70	70
Toplam	100	100
Bölümünüz?		
Yapı Mimarlığı	31	31
Peyzaj Mimarlığı	40	40
Şehir ve Bölge Planlama	29	29
Toplam	100	100
Ekonomik geliriniz?		
...<2.500	66	66
2.500-5.000	14	14
5.000<...	20	20
Toplam	100	100

Anket katılımcılarının soruları bağımsız olarak yanıtlanmaları açısından 18 yaş üstü katılımcı profili ankete dahil edilmiştir. Katılımcıların çoğunluğunun 18-25 yaş aralığında olduğu görülmektedir. Uzman anket katılımcılarının çoğunun çalışmadığı görülmektedir. Lisans, yüksek lisans ya da doktora düzeyinde eğitim almakta olduğundan dolayıdır. Görüldüğü üzere anket katılımcılarının çoğunluğu lisans düzeyinde eğitim almıştır. Katılımcıların çoğunun peyzaj mimarlığı bölümünde uzman olduğu görülmektedir. Ekonomik gelirine bakıldığında çoğunluğunun 2.500'ün altında gelire sahip olduğu görülmektedir (Tablo 3).

3.2. Kavramsal temellere ait bulguları

Anket katılımcılarının; kavramsal temellere yönelik kullanıcı tercihleri irdelenmiştir ve estetik bir meydan ve estetik bir cadde nasıl olmalı sorusunun yanıtı aranmıştır. Tablo 4.'de kavramsal temellere ait kişi sayısı ve yüzde tablosu verilmiştir.

Anket katılımcılarının estetik bir meydan ve estetik bir cadde nasıl olmalıdır sorusuna; Hem estetik bir meydan hem de estetik bir cadde göze hoş görünmeli yanıtını çoğunlukla verdiği görülmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Kavramsal temellere ait kullanıcı istekleri

Kavramsal Temellere Yönelik Kullanıcı Tercihleri	Kişi	Yüzde (%)
Estetik meydan sizce nasıl olmalıdır?		
Göze hoş görünmeli	26	26
Birçok kullanım (fonksiyon) içermeli	15	15
Doğal malzemeler kullanılmalı	9	9
Çevre içinde farkedilmeli	12	12
Sanatsal değeri olmalı	15	15
Estetik bir cadde sizce nasıl olmalıdır?		
Göze hoş görünmeli	55	55
Birçok kullanım (fonksiyon) içermeli	21	21
Doğal malzemeler kullanılmalı	6	6
Çevre içinde farkedilmeli	8	8
Sanatsal değeri olmalı	10	10

3.3. Çalışma alanlarına ait bulgular

Anket katılımcılarının alan kullanma tercihleri sorgulanmaktadır. Tablo 5'te alan kullanım sıklıkları ve tercih edilen saat dilimleri kişi sayıları ve yüzde dağılımları ile birlikte gösterilmektedir.

Tablo 5. Alan kullanım tercihleri

Alan Kullanım Tercihleri	Kapalı Yol	Cumhuriyet Meydanı	Güllük Caddesi
Alanı kullanma sıklığınız?			
Hergün (Çok sık)	Kişi (%)	Kişi (%)	Kişi (%)
Haftada iki (Sık)	9	8	16
Haftada bir (Genellikle)	15	8	9
Ayda iki-üç (Bazen)	35	38	30
Ayda bir (Seyrek)	18	15	17
İki ayda bir (Çok seyrek)	6	13	11
İlk defa	14	14	13
Alanı hangi saat dilimlerinde daha çok kullanıyorsunuz?	3	4	4
07.00-12.00	8	9	16
12.00-18.00	61	56	54
18.00-24.00	65	70	75
24.00-07.00	1	2	1

Anket katılımcıları Kapalı Yolu kullanma sıklığınız nedir sorusuna; katılımcıların haftada bir (genellikle) cevabını çoğunlukla verdiği görülmektedir. Cumhuriyet Meydanını kullanma nedir sıklığınız sorusuna; katılımcıların haftada bir (genellikle) yanıtını çoğunlukla verdiği görülmektedir. Güllük Caddesini kullanma sıklığınız nedir sorusuna; en çok yanıtın haftada bir (genellikle) olduğu görülmektedir (Tablo 5).

Katılımcılara hangi zaman diliminde Kapalı Yolu kullanmayı tercih edersiniz sorusu sorulduğunda; çoğunluğun 18.00-24.00 saat dilimlerinde kullanmayı tercih ettiği görülmektedir. Cumhuriyet Meydanını hangi zaman diliminde kullanmayı tercih edersiniz sorusu sorulduğunda; çoğunluğun 18.00-24.00 saat dilimlerinde kullanmayı tercih ettiği görülmektedir.

Güllük Caddesini hangi zaman diliminde kullanmayı tercih edersiniz sorusu sorulduğunda; çoğunluğun 18.00-24.00 saat dilimlerinde kullanmayı tercih ettiği görülmektedir. Dolayısıyla üç alanın da anket katılımcıları tarafından çoğunlukla 18.00-24.00 saat dilimleri arasında kullanıldığı görülmektedir (Tablo 5).

Anket katılımcılarının alanın bıraktığı etki ve izlenimler sorgulanmaktadır. Tablo 6'da alanların uyandırdığı psikolojik etki, fonksiyonel memnuniyet durumu, en beğenilen karakteristik özellikler kişi sayıları ve yüzde dağılımları ile birlikte gösterilmektedir.

Tablo 6. Alanların kullanıcılarda bıraktığı izlenim

Alanın Kullanıcılarda Bıraktığı İzlenim	Kapalı Yol		Cumhuriyet Meydanı		Güllük Caddesi	
	Kişi	(%)	Kişi	(%)	Kişi	(%)
Alan sizde nasıl bir psikolojik etki uyandırıyor?						
Sıkıntı verici ve hayal kırıklığı	51	51	8	8	49	49
Heyecan verici	5	5	8	8	11	11
Mutluluk verici	18	18	15	15	14	14
Korku ve kaygı verici	7	7	2	2	7	7
Rahatlatıcı	15	15	64	64	16	16
Güven verici	4	4	3	3	3	3
Alandaki fonksiyonlar beklentileri karşılıyor mu?						
Hiç memnun değilim	5	5	6	6	1	1
Memnun değilim	23	23	7	7	21	21
Çok memnunum	5	5	5	5	5	5
Memnunum	60	60	70	70	61	61
Fikrim yok	7	7	12	12	12	12
Alanda en beğendiğiniz karakteristik özellik nedir?						
Sokaklar ve cadde kimliği	68	68	20	20	59	59
Bitki örtüsü	3	3	13	13	4	4
Su ögesi	5	5	44	44	9	9
Mimari yapı	10	10	41	41	6	6
Donatılar	11	11	22	22	14	14
Diğer	14	14	13	13	20	20

Anket katılımcılarına Kapalı Yol sizde nasıl bir psikolojik etki uyandırıyor sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğunda Kapalı yolun psikolojik olarak sıkıntı verdiği ve hayal kırıklığı yaşattığı görülmektedir. Cumhuriyet Meydanını sizde nasıl bir psikolojik etki uyandırıyor sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğunda Cumhuriyet Meydanının psikolojik olarak rahatlama etkisi yarattığı görülmektedir. Güllük Caddesi sizde nasıl bir psikolojik etki uyandırıyor sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğunda Güllük Caddesinin psikolojik

olarak sıkıntı verdiği ve hayal kırıklığı yaşattığı görülmektedir (Tablo 6).

Anket katılımcılarına Kapalı Yoldaki fonksiyonlar beklentinizi karşılıyor mu sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğu memnun yanıtı vermiştir. Cumhuriyet Meydanındaki fonksiyonlar beklentinizi karşılıyor mu sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğu memnun yanıtı vermiştir. Güllük Caddesindeki fonksiyonlar beklentinizi karşılıyor mu sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğu memnun yanıtı vermiştir. Dolayısıyla her üç alan kullanıcıları da alanlarda bulunan fonksiyonlardan memnunum yanıtını vermiştir ve alanların beklentileri karşıladığı görülmektedir (Tablo 6).

Katılımcılara Kapalı Yolda en beğendiğiniz karakteristik özellik nedir sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğunluğun sokaklar ve cadde kimliği yanıtı verdiği görülmektedir. Cumhuriyet Meydanında en beğendiğiniz karakteristik özellik nedir sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğunluğun su ögesi yanıtı verdiği görülmektedir. Güllük Caddesinde en beğendiğiniz karakteristik özellik nedir sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğunluğun sokaklar ve cadde kimliği yanıtı verdiği görülmektedir (Tablo 6).

Anket katılımcılarının alanları kullanım amaçları irdelenmektedir. Tablo 7'de alanların kullanım amaçları kişi sayıları ve yüzde dağılımları ile birlikte gösterilmektedir.

Tablo 7. Alanların kullanım amaçları

Alan Kullanım Amaçları	Kapalı Yol		Cumhuriyet Meydanı		Güllük Caddesi	
	Kişi	(%)	Kişi	(%)	Kişi	(%)
Alanı kullanma amacınız nelerdir?						
Temiz hava almak	6	6	48	48	4	4
Dinlenmek ve rahatlamak	5	5	60	60	5	5
Alışveriş yapmak	73	73	7	7	67	67
Etrafı seyretmek	7	7	57	57	9	9
Birileriyle buluşmak	34	34	45	45	23	23
Günlük işlerimi halletmek	16	16	8	8	32	32
Diğer	9	9	6	6	8	8

Kapalı Yolu kullanma amacınız nelerdir sorusu sorulduğunda; katılımcıların Kapalı Yolu en çok alışveriş yapmak amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Cumhuriyet Meydanını kullanma amacınız nelerdir sorusu sorulduğunda; katılımcıların Cumhuriyet Meydanını en çok dinlenmek ve rahatlama amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Güllük Caddesini kullanma amacınız nelerdir sorusu sorulduğunda; katılımcıların Güllük Caddesini en çok alışveriş

yapmak amacıyla kullanıldığı görülmektedir (Tablo 7).

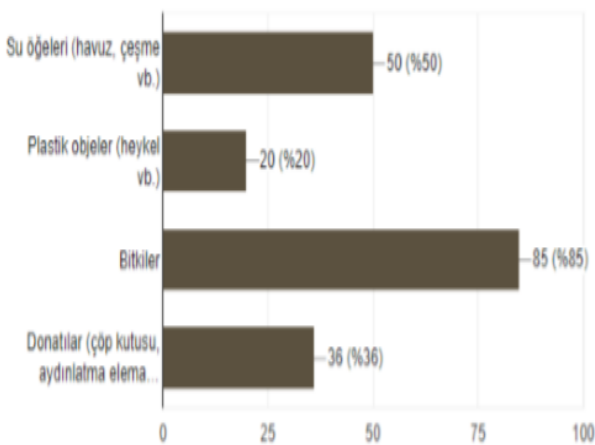
Anket katılımcılarının alanlara yönelik istekleri ve gerekli gördüğü düzenlemeler saptanmıştır. Tablo 8'de alanlarda kullanıcı istek ve gerekli bulunan düzenlemeler kişi sayıları ve yüzde dağılımları ile birlikte gösterilmektedir.

Tablo 8. Alan kullanıcı istekleri

Kullanıcının İstekleri	Kapalı Yol		Cumhuriyet Meydanı		Güllük Caddesi	
	Kişi	(%)	Kişi	(%)	Kişi	(%)
Alanın nasıl olmasını isterdiniz?						
Daha renkli	30	30	62	62	26	26
Daha renksiz	0	0	1	1	1	1
Daha kompleks	7	7	7	7	41	41
Daha basit	7	7	0	0	7	7
Daha büyük	36	36	60	60	8	8
Daha küçük	1	1	0	0	0	0
Daha doğal	19	19	24	24	18	18
Daha yapay	7	7	0	0	0	0

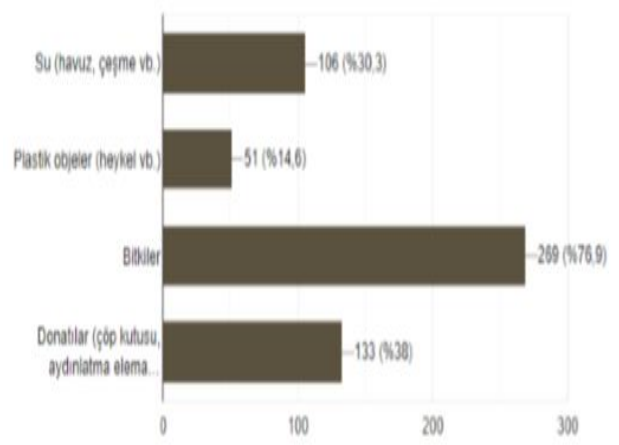
Kapalı Yolun nasıl olmasını isterdiniz sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğunluğunun daha büyük yanıtı verdiği görülmektedir. Cumhuriyet Meydanının nasıl olmasını isterdiniz sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğunluğunun daha renkli yanıtı verdiği görülmektedir. Güllük Caddesinin nasıl olmasını isterdiniz sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğunluğunun daha kompleks yanıtı verdiği görülmektedir (Tablo 8)

Anket katılımcılarına Kapalı Yolda hangi düzenlemelere yer verilmelidir sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğunluğunun Kapalı Yolda bitki düzenlemesine (peyzaj çalışmalarına) yer verilmeli yanıtını verdiği görülmektedir (Şekil 4).



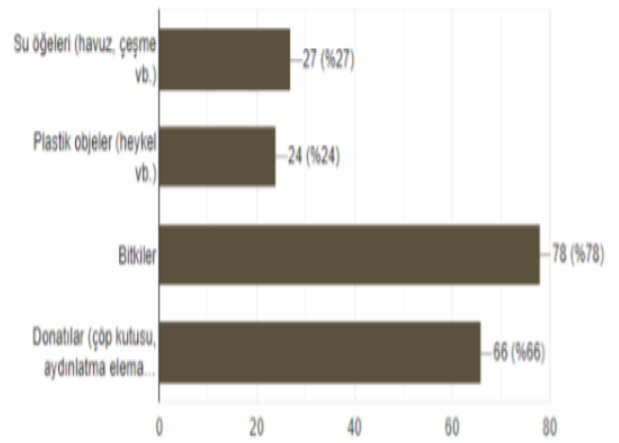
Şekil 4. Kapalı Yolda İstenen Düzenleme Elemanları (%)

Anket katılımcılarına Cumhuriyet Meydanında hangi düzenlemelere yer verilmelidir sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğunluğunun Cumhuriyet Meydanında bitki düzenlemesine (peyzaj çalışmalarına) yer verilmeli yanıtını verdiği görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Cumhuriyet Meydanında İstenen Düzenleme Elemanları (%)

Anket katılımcılarına Güllük Caddesinde hangi düzenlemelere yer verilmelidir sorusu sorulduğunda; katılımcıların çoğunluğunun Güllük caddesinde bitki düzenlemesine (peyzaj çalışmalarına) yer verilmeli yanıtını verdiği görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Güllük Caddesinde İstenen Düzenleme Elemanları (%)

Dolayısıyla anket katılımcıları tarafından her üç alanda da çoğunlukla bitki düzenlemesine (peyzaj çalışmalarına) yer verilmeli yanıtı verdiği görülmektedir.

Kapalı yolda hoşlandığınız şeyler nedir açık uçlu sorusuna genellikle alışveriş, hareketlilik ve kalabalık, trafiğe kapalı olması, erişim ve ulaşılabilirlik, cadde kimliği, konum ve mimari yapısı gibi yanıtlar gelmiştir. Kapalı yolda hoşlanmadığınız şeyler açık uçlu sorusuna genellikle kalabalık, dar, yetersiz, çarpık kentleşme, sıkıcı, estetik değil, işlevsiz, esnaf ve seyyar satıcılar, güvensiz, otopark sorunu, donatı eksikliği, gürültü, bakımsız gibi yanıtlar gelmiştir.

Cumhuriyet Meydanından hoşlandığınız şeyler açık uçlu sorusuna genellikle manzara, heykel, deniz, sakinlik ve huzur, modern görüntüsü, binalardan arınmış sakin hali, röper noktalardan biri

olması(bağlantı noktası), temiz hava ve mimari yapı yanıtları gelmiştir. Cumhuriyet Meydanından hoşlanmadığınız şeyler açık uçlu sorusuna genellikle beton yığını, bitki az, peyzaj eksik, fonksiyonel yetersizlik, otopark sorunu, donatı yetersizliği, estetik değil, yapay, gölge yok, sert zemin rengi ve dokusu, dilenci ve falcılar gibi yanıtlar gelmiştir.

Güllük caddesinden hoşlandığımız şeyler açık uçlu sorusuna genellikle alışveriş, gezmek, işlek cadde olması, erişim ve ulaşım gibi yanıtlar gelmiştir. Güllük caddesinden hoşlanmadığınız şeyler açık uçlu sorusuna kalabalık, kaldırım ve seyyar satıcılar, fonksiyonel yetersizlik, trafik, estetik değil, dar, trafiğe kapatılmalı, mimarisi, donatılar, yapay, bitki eksikliği gibi yanıtlar gelmiştir.

3.4. Foto-anket sonucuna göre en yüksek ve en düşük puanı alan fotoğraflar

Fotoğraflar kullanılarak yapılan foto-anket sonucuna göre en yüksek ve en düşük puanı alan fotoğraflar belirlenirken 3, 2, 1 oylarının toplamı en yüksek puanı belirlerken -1, -2, -3 oylarının toplamı ise en düşük puanı belirlemektedir. 0 oyları ise hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Yöntem kısmında bahsedildiği üzere hoş/sıkıcı, ilginç/ilginç değil, farklı/monoton, abartılı/silik, uyumlu/uyumsuz parametreleri kullanılmıştır ve bu parametreler birbirinin zıttı konumundadır. Örneğin 1, 2, 3 oyları hoş puanını belirtirken 0 oyu fikrim yok -1,-2,-3 oyları ise sıkıcı puanını belirlemektedir. Dolayısıyla da en yüksek puanı alan hoş fotoğraf aynı zamanda en az puanı alan sıkıcı fotoğraf konumunda da olabilir. Aynı şekilde en yüksek puanı alan sıkıcı fotoğraf aynı zamanda en az puanı alan hoş fotoğraf konumunda da olabilir. Fakat nadir olarak 0 oyları bu durumu değiştirebilmektedir. Foto-anket sonucuna göre en yüksek ve en düşük puanı alan fotoğraflar ve kişi oy sayıları Tablo 9' da gösterilmektedir.

Tablo 9. En Yüksek Ve En Düşük Puanlama Sonuçları

	En Yüksek Puan		En Düşük Puan	
	Kişi Sayısı:	Fotoğraf Kodu:	Kişi Sayısı:	Fotoğraf Kodu:
Hoş	99	F2	19	F3
Sıkıcı	71	F3 ve F15	1	F2
İlginç	90	F22	14	F15
İlginç değil	72	F3	2	F22
Farklı	89	F22	13	F3
Monoton	73	F3	3	F22
Abartılı	71	F32	17	F26
Silik	58	F10 ve F20	9	F13
Uyumlu	99	F8	15	F3
Uyumsuz	75	F3	0	F8

Foto-anket sonucuna göre en yüksek ve en düşük fotoğraflar Şekil 7.'de gösterilmektedir.



Şekil 7. En yüksek ve en düşük puanı alan fotoğraflar

Foto-anket parametreleri incelendiğinde; F2 kodlu fotoğraf hoş parametresinde en yüksek(99) sıkıcı parametresinde en düşük (1) puanı almıştır. F2 kodlu fotoğraf doğala yakın bir tasarım içermektedir ve informal çizgiler hakimdir. Doğallık özelliğine sahip çevrenin birçok materyal ile uyumunun kolay olduğu ve bitki türlerinin duysal algı özelliklerinin kombinasyonunun tasarımlarda çok fazla tercih sebebi olduğu görülmektedir. Bu bağlamda hoş parametresinde en yüksek puanı alması etkili olmuştur.

F3 kodlu fotoğraf sıkıcı (71), ilginç değil (72) uyumsuz (75) monoton(73) parametrelerinde en yüksek puanı alırken, hoş(19), farklı(13), uyumlu(15) parametrelerinde en düşük puanı almıştır. Ticari levhaların cadde ve sokaklarda; renk, doku, tekstür, şekil ve biçim gibi özellikleri bulunduğu yerin mevcut yapısına uygun şekilde tercih edilmesi kent estetiğine olumlu katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda F3 kodlu fotoğraf ise ticari levhaların görüntü kirliliği oluşturduğu ve bina cephelerini işgal ettiği bir fotoğraftır.

F8 kodlu fotoğraf uyumlu parametresinde en yüksek(99) puanı alırken, uyumsuz parametresinde en düşük(0) puanı almıştır. F8 kodlu fotoğrafta doğa taklit edilerek daha informal çizgilere yer verilmiştir. Dolayısıyla daha doğaldır. Bu bağlamda F8 kodlu fotoğraf uyumlu parametresinde en yüksek puanı almıştır.

F10 kodlu fotoğraf silik parametresinde en yüksek(58) puanı almıştır. Su ögesi, kamusal park ve meydanlar gibi kentsel çevrelerde inşaa edilmiş su elemanları olup; kent peyzajlarımızda suyun rolünü ortaya koymaktadır. İnsanların suyun özelliklerini dokunma, görme ve ses yoluyla deneyimlemesine olanak sağlarlar dolayısıyla da bu şekilde yaklaşımın arkasındaki gerekçe insanların suyun güzellikleri ile ilişki kurabilecekleri sürdürülebilir ve güzel kentsel açık alanlar üretmektir. Ancak F10 kodlu fotoğrafta ise durum tam tersidir. Dolayısıyla süs havuzları, şelaleler, göletler gibi içinde su barındıran alanların susuz ve atıl bırakılması kentlerde estetik açıdan olumsuz yönde etkilemektedir ve görüntü kirliliği oluşturmaktadır.

F13 kodlu fotoğraf silik parametresinde en düşük (9) puanı almıştır. Projelerde kullanılan objeler çizgi, şekil-form, doku, renk açısından çok önemli bir yere sahiptir. Çünkü çevresiyle denge içinde, uyumlu, birlik ve bütünlük oluşturmuş objeler kentsel tasarımlarda estetik açıdan da olumlu katkı sağlayacaktır. F13 kodlu fotoğrafta sadece yapısal malzemeden oluşturulmuş bir objedir bu açıdan silik parametresinde en az puanı almıştır.

F15 kodlu fotoğraf sıkıcı parametresinde en yüksek (71) puanı alırken, ilginç parametresinde en düşük(14) puanı almıştır. Peyzaj mimarı doğal ve yapıllı çevrelerin planlama, tasarım, yönetim, koruma ve rehabilitasyonuna sanatsal, bilimsel prensipler ve yeni anlayışlar getirmenin yanı sıra ekolojik çerçeveye odaklanmış kaliteli bir yaşam olanağı da sunmaktadır. F15 kodlu fotoğrafta alanın mevcut hali vardır ve hiçbir peyzaj çalışması yapılmamıştır. Bu bağlamda sıkıcı parametresinde en yüksek puanı almıştır.

F20 kodlu fotoğraf silik parametresinde en yüksek (58) puanı almıştır. Kentsel çevre tasarımlarının vazgeçilmez unsurlarından olan donatı elemanları imal edildikleri malzemenin cinsi, yapısı, dokusu, rengi ve çizgisel özellikleri gibi unsurlarla birlikte estetiklik kavramını ortaya koyarlar. F20 kodlu fotoğrafta bulunan donatı elemanı oldukça sade ve eski bir tasarımdır, günümüz tasarımlarının yanında silik kalmaktadır bu yüzden silik parametresinde en yüksek puanı almıştır.

F22 kodlu fotoğraf ilginç (90), farklı (89) parametrelerinde en yüksek puanı alırken, ilginç değil (2), monoton (3) parametrelerinde en düşük puanı almıştır. F22 kodlu fotoğrafta bulunan donatı

elemanları modern çizgileri yansıtan ve alışılmışın dışında bir tasarıma sahiptir. Bu açıdan ilginç parametresinde en yüksek puanı almıştır.

F26 kodlu fotoğraf abartılı parametresinde en düşük (17) puanı almıştır. Binaların dış cephe kaplama malzemesi ile kaplanması binanın tümünde ısı yalıtımı sağlamak gibi yaralarının yanında estetik açıdan da binanın dış cephe boya renkleri ile boyanıp dekoratif, şık bir görünüm elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla da bina cephe kaplamaları kentlerde hem estetik açıdan hem de kentsel kimlik kazanma açısından oldukça önemlidir. Dolayısıyla F26 kodlu görsel abartı parametresinde en düşük puanı almıştır.

F32 kodlu fotoğraf abartılı parametresinde en yüksek (71) puanı almıştır. F32 kodlu fotoğraf abartı parametresinde en yüksek puanı almıştır ama uyumlu bulunmuştur. Heykelin Ulusal Yükseliş Anıtı kimliğine sahip olması ve alanla bütünleşmesi uyumlu bulunmasında rol oynamaktadır. Dahası Antalya ile bütünleşerek değerlendirilmiş ve kimlik kazanmış heykelin kent estetiğine katkısı büyüktür.

4. Tartışma ve Sonuç

İnsanların ve diğer canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri karşılıklı etkileşim içinde oldukları ortamlar çevreyi oluşturmaktadır. Bulduğumuz çevrelerin fiziki, biyolojik, sosyal, ekonomik ve kültürel ortamları hayatımızın şekillenmesinde katkı sağlarken genel görünümüne de psikolojik ve entelektüel ihtiyaçlarımızın karşılanmasına katkı sağlamaktadır. Nitekim F28, F29 ve F30 kodlu fotoğraflarda Cumhuriyet Meydanı, Güllük Caddesi ve Kapalı Yolda bulunan benzer kullanımlar kıyaslanmıştır. Görsellerde alanların genel görünümü değerlendirilmiştir. F28 görseli Kapalı yola, F29 görseli Güllük caddesine, F30 görseli ise Cumhuriyet Meydanına aittir. Alanlar kıyaslandığında F30 kodlu fotoğraf beğenilerinin F28 ve F29 kodlu fotoğraflardan daha fazla olduğu görülmektedir. F28 ve F29 kıyaslanırsa F28 daha fazla oy almıştır fakat F28 ve F29 kodlu fotoğrafların genel görünümünün kent estetiğine katkıda bulunabilmesi için restorasyon, iyileşme gibi düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

Kentsel tasarımlarda tasarımcıların küçük bir ayrıntı olarak algıladıkları ayrıntılar bile kent estetiği açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Dolayısıyla en küçük tasarımları şekillendirirken bile kullanılan malzeme renk, doku, tekstür, biçim-form yönünden iyi araştırmalı ve yerinde kararlar vermelidir. Nitekim F17,F18 ve F19 kodlu fotoğraflarda Cumhuriyet Meydanı, Güllük Caddesi ve Kapalı Yolda bulunan benzer kullanımlar kıyaslanmıştır. Görsellerde bitki ve ağaç çevresinde kullanılan malzeme görünümü değerlendirilmektedir. F17 görsel Cumhuriyet Meydanında, F18 görsel

Güllük Caddesinde, F19 görsel Kapalı Yola aittir. Anket katılımcılarının yanıtları incelendiğinde F17 kodlu fotoğraf daha çok beğeni almıştır. F18 ve F19 kodlu fotoğraflara nazaran modern görüntüsünden dolayı kent estetiğine katkısı daha yüksektir.

Peyzaj mimarı doğal ve yapıli çevrelerin planlama, tasarım, yönetim, koruma ve rehabilitasyonuna sanatsal, bilimsel prensipler ve yeni anlayışlar getirmenin yanı sıra ekolojik çerçeveye odaklanmış kaliteli bir yaşam olanağı da sunmaktadır. Bu bağlamda F15 ve F16 kodlu fotoğraflara bakıldığında F15 kodlu fotoğrafta alanın mevcut hali F16 fotoğrafta ise peyzaj düzenlemeleri yapılmış hali görülmektedir. Dolayısıyla açık bir şekilde görülüyor ki F16 kodlu fotoğraf daha yüksek puanlar almıştır. Hali hazır projelendirilmesi gerekli olan yerlerde peyzaj çalışmalarının gerçekleştirilmesi kent estetiğine olumlu katkıda bulunmaktadır.

Projelerde kullanılan objeler çizgi, şekil-form, doku, renk açısından çok önemli bir yere sahiptir. Çünkü çevresiyle denge içinde, uyumlu, birlik ve bütünlük oluşturmuş objeler kentsel tasarımlarda estetik açılarından da olumlu katkı sağlayacaktır. Nitekim F13 ve F14 kodlu fotoğraflara bakıldığında F13 kodlu fotoğrafta yapısal malzemedan oluşturulmuş bir obje F14 kodlu fotoğrafta ise topiary sanatını da barındıran bir obje mevcuttur. Uzman anket katılımcılarından F13 ve F14 kodlu fotoğrafları kıyaslamaları istendiğinde yakın puanlar alsalar da F14 kodlu fotoğraf daha yüksektir. Tasarımlarda yapısal objelerin bitkilerle birlikte kullanımı kentsel estetiğe katkı sağlayabilir.

Kentsel çevrelerde tasarımlarda kullandığımız bitkiler gerek sonbahar, gerekse ilkbahar renklenmesiyle adeta gözlerimizde renk şöleni oluşturmaktadır. Kentsel estetik hususunda ise bitki renklenmelerinin mevsimsel olarak sınıflandırılmadığı görülmektedir. Nitekim F11 ve F12 kodlu fotoğraflara bakıldığında yaz görüntüsü ve kış görüntüsü kıyaslanmıştır ancak puanlarda büyük bir fark görülmemektedir. Bu bağlamda yaz görüntüsü de kış görüntüsü de yakın puanlar almış kent estetiğine etkisi bulunmamıştır.

Doğallık özelliklerine sahip çevrenin birçok materyal ile uyumunun kolay olduğu ve bitki türlerinin duysal algı özelliklerinin kombinasyonunun tasarımlarda çok fazla tercih sebebi olduğu görülmektedir. İnfomal çizgiler doğal çağrıştıran çizgisel formlara sahip iken, formal çizgilerse daha keskin ve köşeli hatlara sahip çizgi formundadır. Nitekim F7 ve F8 kodlu fotoğraflarda bulunan alanların kıyaslanması istenmiştir. Güllük Caddesinde bulunan F7 kodlu fotoğrafta çok formal çizgilere yer verilmiş, doğallıktan uzak bir tasarımdır. F8 kodlu fotoğrafta ise daha infomal çizgilere yer verilmiş ve daha doğaldır. Dolayısıyla F8 kodlu fotoğraf daha yüksek puanlar almıştır.

Su ögesi, kamusal park ve meydanlar gibi kentsel çevrelerde inşaa edilmiş su elemanları olup; kent peyzajlarımızda suyun rolünü ortaya koymaktadır. İnsanların suyun özelliklerini dokunma, görme ve ses yoluyla deneyimlemesine olanak sağlarlar dolayısıyla da bu şekilde yaklaşımın arkasındaki gerekçe insanların suyun güzellikleri ile ilişki kurabilecekleri sürdürülebilir ve güzel kentsel açık alanlar üretmektir. Bu bağlamda F9 ve F10 kodlu fotoğraflarda su ögesinin varlığı kıyaslanmaktadır. Su varlığının bulunmadığı F10 kodlu fotoğraf daha düşük puan almıştır çünkü süs havuzları, şelaleler, göletler gibi içinde su barındıran alanların susuz ve atıl bırakılması kentlerde estetik açıdan olumsuz yönde etkilemektedir ve görüntü kirliliği oluşturmaktadır. Bu açıdan süs havuzları, şelaleler, göletler gibi alanlarda suyun varlığı kentlere de estetik açıdan katkıda bulunacaktır.

Ticari levhaların cadde ve sokaklarda; renk, doku, tekstür, şekil ve biçim gibi özellikleri bulunduğu yerin mevcut yapısına uygun şekilde tercih edilmesi kent estetiğine olumlu katkıda bulunmaktadır. Nitekim F3 ve F4 kodlu fotoğraflarda ticari işletme levhalarına bakılarak kıyaslama yapılması istenmiştir. F3 kodlu fotoğraf Kapalı yolda bulunan karmaşık ve görüntü kirliliği oluşturan levhalardan oluşmaktayken F4 kodlu fotoğraf ise Kapalı Yolun bir üst caddesinde yer alan Şarmpol Caddesine aittir ve geçtiğimiz yıllarda cadde de sokak iyileştirilmesi yapılmıştır. Dolayısıyla F3 kodlu fotoğraf düşük puanlar alırken F4 kodlu fotoğraf yüksek puanlar almıştır. Ticari levha kirliliği insanları çok rahatsız etmektedir çünkü birçok parametrenin en düşük oyunu görüntü kirliliği oluşturan ticari levhaları bünyesinde barındıran F3 kodlu fotoğraf almıştır.

Kent estetiği konusu interdisipliner bir alandır ve peyzaj mimarları, yapı mimarlarını ve şehir plancılarını bünyesinde barındırmaktadır. Bu noktada disiplinler birlikte hareket etmeli ve halkı düşünerek ortak paydaya gelebilmelidirler. Disiplinler arası çalışma sınırlarına saygı gösterilmeli gerektiğinde fikir paylaşımı yapılmalıdır. Maalesef günümüzde Kent Estetiği Konseylerinde genelde yapı mimarları ön plana çıkmakta ve peyzaj mimarlarına yer verilmemektedir. Nitekim Peyzaj mimarlarına da bu ve benzeri konseylerde yer verilmelidir. Bunun değerlendirilmesi mesleki açıdan da bir kazanım olacaktır.

Ticari levha kirliliği kent estetiğine olumsuz katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda işletmeler tek tip levha kullanımına geçmelidir. Aynı zamanda binaların dış cephesinin genel görünümünün kent estetiğine katkıda bulunabilmesi için restorasyon, iyileştirme gibi düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Kimliksiz ya da anlam içeriğine sahip olmadan kullanılan objeler alandan soyutlanmakta ve yabancılaşmaktadır ve zamanla göze hitap etmemektedir. Bu açıdan kullandığımız obje ve

heykellerin alanla entegrasyonunu göz önünde bulundurulmalı ve tercihlerin o yönde yapmasına özen gösterilmelidir.

Kent mobilyaları ve donatı elemanları seçiminde çizgi günümüz koşullarına uyan modern, işlevsel, ekonomik ve ergonomik tercihler olmalıdır. Kent mobilyaları ve donatılar kentlerin bel kemiğini oluşturmaktadır. Doğru tercihlerimiz kent estetiğine olumlu katkıda bulunacaktır.

Süs havuzları, şelaleler, göletler gibi alanlar susuz bırakılmamalıdır. Su varlığının bulunmadığı süs havuzları, şelaleler, göletler gibi içinde su barındıran alanların susuz ve atıl bırakılması kentlerde estetik açıdan olumsuz yönde etkilemektedir ve görüntü kirliliği oluşturmaktadır. Bu açıdan süs havuzları, şelaleler, göletler gibi alanlarda suyun varlığı kentlere de estetik açıdan katkıda bulunacaktır.

Doğal yakın tasarımlar daha estetik bulunmaktadır. Tasarımlarımıza doğadaki düzeni takip ederek yön vermeliyiz. Gereksiz büyük, sert zemine oturtulmuş tek tip bitki türlerinden oluşan tasarımlardan uzak durulmalı, daha zengin bitkisel tasarımlara yer verilmelidir. Tasarımlarda yapısal objelerin bitkilerle birlikte kullanımı kentsel estetiğe katkı sağlayabilir.

Sonuç olarak mekâna, kente ve kentsel mekâna ilişkin beğeni düzeyinin yükseltilmesi, estetik eğitimin kendisi, yalnızca algı düzeyi ile sınırlanmış bir anlayışa indirgenemez. Estetik anlayışımız, estetiğin bir 'algı' ve bir 'beğeni yargısı' ya da 'hazlar kuramı' olarak gören Kantçı estetiğin ötesindedir. Önemli olan kentsel yaşamın güzelliğin alanına sokulması (kentsel estetik) ve dönüştürülmesidir. Yani estetiğin bizzat yaşamın, toplu yaşamın içine sokulmasıdır. Estetiğin alanı, yalnızca gerçeğin estetik yoldan kavranması ve güzelliğin bağlı olduğu yasaların bulunması ile sınırlı görülemez, esas olan gerçeğin biçimlendirilmesi ve dönüştürülmesidir. Yani kentsel estetiği alanı edilgen bir etkinlik değildir [5].

Kaynakça

- [1] Sevinç, M. 1999. Postmodernizm ve kent. Birikim Dergisi, 124, 54-59.
- [2] Kumbaracıbaşı, C. 1991. Kent, estetik, Ankara, 2000'li yıllar için Ankara kenti'nin açık ve yeşil alan sistemi ne olmalıdır?. Ankara Büyükşehir Belediyesi&Peyzaj Mimarlığı Derneği Sempozyum Bildirileri Ortak Yayını, 29/31 Mayıs, Ankara, 65-67.
- [3] Dede, E. Ö. 1997. Mekanın algılanma olgusu ve insan-hareket-zaman faktörlerinin etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [4] Kalın, A. 2004. Çevre tercih ve değerlendirmesinde görsel kalitenin belirlenmesi ve geliştirilmesi Trabzon sahil

bandı çrneği. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.

- [5] Keskinok, H. Ç 2007. Kentsel Estetik Üzerine. http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sa_yfa=mimarlik&DergiSayi=52&RecID=1295 (Erişim Tarihi: 10.10.2019).

Ekler

Ek A. Kentsel çevrede estetik değerlendirmesi: Muratpaşa ili örneğine ilişkin halk ve uzman kullanıcı anket değerlendirmesi

1.Cinsiyetiniz? *

Kadın Erkek

2.Yaşınız ? *

18-25 26-33 34-41 42-49
50-57 58-65 65+

3.Eğitim durumunuz ? *

İlk Öğretim Orta Öğretim (Lise) Lisans
Yüksek Lisans Doktora

4.İş durumunuz ? *

Çalışıyor Çalışmıyor

5.Mesleğiniz ? *

6.Ekonomik geliriniz? *

...<2.500 2.500-5.000 5.000<...

7.Kapalı yolu kullanma sıklığınız ? *

Hergün Haftada iki Haftada bir Ayda iki-üç
Ayda bir İki ayda bir İlk defa

8.Cumhuriyet Meydanını kullanma sıklığınız ? *

Hergün Haftada iki Haftada bir Ayda iki-üç
Ayda bir İki ayda bir İlk defa

9.Güllük caddesini kullanma sıklığınız ? *

Hergün Haftada iki Haftada bir Ayda iki-üç
Ayda bir İki ayda bir İlk defa

10.Kapalı yolu hangi saat dilimlerinde daha çok kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.) *

07.00-12.00 12.00-18.00
18.00-24.00 24.00-07.00

11.Cumhuriyet meydanını hangi saat dilimlerinde daha çok kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.) *

07.00-12.00 12.00-18.00
18.00-24.00 24.00-07.00

12.Güllük caddesini hangi saat dilimlerinde daha çok kullanıyorsunuz? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.) *

07.00-12.00 12.00-18.00
18.00-24.00 24.00-07.00

13.Kapalı yol sizde nasıl bir psikolojik etki uyandırıyor? *

- Sıkıntı ve hayal kırıklığı Heyecan verici
 Mutluluk verici Korku ve kaygı verici
 Rahatlatıcı Güven verici

14.Cumhuriyet meydanı sizde nasıl bir psikolojik etki uyandırıyor ? *

- Sıkıntı ve hayal kırıklığı Heyecan verici
 Mutluluk verici Korku ve kaygı verici
 Rahatlatıcı Güven verici

15.Güllük caddesi sizde nasıl bir psikolojik etki uyandırıyor ? *

- Sıkıntı ve hayal kırıklığı Heyecan verici
 Mutluluk verici Korku ve kaygı verici
 Rahatlatıcı Güven verici

16.Kapalı yoldaki fonksiyonlar beklentilerinizi (memnuniyet durumu) karşılıyor mu? *

- Hiç memnun değilim Memnun değilim
 Fikrim yok Çok memnunum Memnunum

17.Cumhuriyet meydanındaki fonksiyonlar beklentilerinizi (memnuniyet durumu) karşılıyor mu ?*

- Hiç memnun değilim Memnun değilim
 Fikrim yok Çok memnunum Memnunum

18.Güllük caddesindeki fonksiyonlar beklentilerinizi (memnuniyet durumu) karşılıyor mu ? *

- Hiç memnun değilim Memnun değilim
 Fikrim yok Çok memnunum Memnunum

19.Kapalı yolda en beğendiğiniz karakteristik özellik ? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.) *

- Sokaklar ve cadde kimliği Bitki örtüsü Su ögesi
 Mimari yapı Donatılar Diğer

20.Cumhuriyet meydanında en beğendiğiniz karakteristik özellik? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.) *

- Sokaklar ve cadde kimliği Bitki örtüsü Su ögesi
 Mimari yapı Donatılar Diğer

21.Güllük caddesinde en beğendiğiniz karakteristik özellik? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.) *

- Sokaklar ve cadde kimliği Bitki örtüsü Su ögesi
 Mimari yapı Donatılar Diğer

22.Kapalı yolu kullanma amacınız nelerdir ?(Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.) *

- Temiz hava almak Dinlenmek ve rahatlamak
 Birileriyle buluşmak Günlük işlerimi halletmek
 Alışveriş yapmak Etrafı seyretmek Diğer

23.Cumhuriyet meydanını kullanma amacınız nelerdir ?(Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.) *

- Temiz hava almak Dinlenmek ve rahatlamak
 Birileriyle buluşmak Günlük işlerimi halletmek
 Alışveriş yapmak Etrafı seyretmek Diğer

24.Güllük caddesini kullanma amacınız nelerdir? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.) *

- Temiz hava almak Dinlenmek ve rahatlamak
 Birileriyle buluşmak Günlük işlerimi halletmek
 Alışveriş yapmak Etrafı seyretmek Diğer

25.Kapalı yolun nasıl olmasını isterdiniz ? *

- Daha renkli Daha renksiz Daha kompleks
 Daha basit Daha büyük Daha küçük
 Daha doğal Daha yapay

26.Cumhuriyet meydanının nasıl olmasını isterdiniz ? *

- Daha renkli Daha renksiz Daha kompleks
 Daha basit Daha büyük Daha küçük
 Daha doğal Daha yapay

27.Güllük caddesinin nasıl olmasını isterdiniz ? *

- Daha renkli Daha renksiz Daha kompleks
 Daha basit Daha büyük Daha küçük
 Daha doğal Daha yapay

28.Kapalı yolda hangi düzenlemelere yer verilmelidir ? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.) *

- Su öğeleri Plastik objeler Bitkiler Donatılar

29.Cumhuriyet meydanında hangi düzenlemelere yer verilmelidir? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.) *

- Su öğeleri Plastik objeler Bitkiler Donatılar

30.Güllük caddesinde hangi düzenlemelere yer verilmelidir? (Birden fazla seçenek işaretleyebilirsiniz.) *

- Su öğeleri Plastik objeler Bitkiler Donatılar

31.Estetik bir meydan sizce nasıl olmalıdır ? *

- Göze hoş görünmeli Birçok kullanım içermeli
 Çevre içinde farkedilmeli Sanatsal değeri olmalı
 Doğal malzemeler kullanılmalı

32.Estetik bir cadde sizce nasıl olmalıdır ? *

- Göze hoş görünmeli Birçok kullanım içermeli
 Çevre içinde farkedilmeli Sanatsal değeri olmalı
 Doğal malzemeler kullanılmalı

33.Kapalı yolda hoşlandığınız şeyler nelerdir ? *

34.Cumhuriyet meydanında hoşlandığınız şeyler nelerdir ? *

35.Güllük caddesinde hoşlandığınız şeyler nelerdir ? *

36.Kapalı yolda hoşlanmadığınız şeyler nelerdir ? *

37.Cumhuriyet meydanında hoşlanmadığınız şeyler nelerdir ?*

38.Güllük caddesinde hoşlanmadığınız şeyler nelerdir ? *

EK B. Kentsel Çevrede Estetik Değerlendirmesi: Muratpaşa İli Örneğine İlişkin Uzman Kullanıcıların Foto-Anket Değerlendirmesinde Yer Alan Fotoğraflar



Nanotel Yapılı Kalem Grafit Elektrotlar Kullanılarak Prometazinin Voltametrik Tayini

Tuğba SARDOHAN KÖSEOĞLU*¹, Aybüke DURGUT²

^{1,2}Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 29.08.2020, Kabul / Accepted: 30.10.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Aşırı yükseltgeme,
Kalem grafit elektrot,
Nanotel yapıli elektrot,
Prometazinin,
Voltametri

Özet: Çalışmada, prometazinin tayini için kalem grafit elektrot (KGE) temelli polimerik nanotel yapıli elektrotlar (KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2) hazırlanmıştır. Döngü sayısı, tarama hızı ve ortam pH değeri gibi parametreler optimize edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, optimum döngü sayısı 4, tarama hızı 100 mV/s ve ortamın pH değeri 4 olarak belirlenmiştir. Elektrotlar dönüşümlü voltametri (CV) yöntemi ile hazırlanmıştır. Elektrotların prometazinin tayini üzerindeki performansı ise diferansiyel puls voltametri (DPV) yöntemi ile araştırılmıştır. Doğrusal çalışma aralığına 0.05-0.3 mM prometazinin derişim aralığında (KGE-AY-NT1; $R^2=0.9995$ ve KGE-AY-NT2; $R^2=0.9996$) ulaşılmıştır. KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 elektrotlar için gözlenebilme sınırları (LOD) sırasıyla 0.015 mM ve 0.012 mM olarak bulunmuştur ($S/N=3$). Girişim etkisi deney sonuçları, KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 elektrotlarının prometazine karşı seçicilik ve hassasiyetinin, girişim yapan türlerin varlığından önemli ölçüde etkilenmediğini göstermiştir. Geliştirilen elektrotlar, standart ekleme yöntemi ile idrar numunesine katkılanırılmış prometazinin tayininde uygulanmış ve yöntemin geri kazanım değerlerinin %100'e yakın olduğu belirlenmiştir.

Voltammetric Determination of Promethazine Using Pencil Graphite Electrodes with Nanowire Structured

Keywords

Overoxidation,
Pencil graphite electrode,
Nanowire structured
electrode,
Promethazine,
Voltammetry

Abstract: In the study, polymeric nanowire structured electrodes (KGE-AY-NT1 and KGE-AY-NT2) based on pencil graphite electrode (KGE) were prepared for promethazine determination. Parameters such as number of cycles, scan rate and pH of the media are optimized. As a result of the experiments, the optimum number of cycles, scan rate, pH of the media were determined as 4, 100 mV/s and 4, respectively. Electrodes were prepared by cyclic voltammetry (CV) method. The performance of electrodes on promethazine determination was investigated by differential pulse voltammetry (DPV) method. The linear working range was reached in the 0.05-0.3 mM promethazine concentration range (KGE-AY-NT1; $R^2 = 0.9995$ and KGE-AY-NT2; $R^2 = 0.9996$). The detection limits (LOD) for KGE-AY-NT1 and KGE-AY-NT2 electrodes were found to be 0.015 mM and 0.012 mM, respectively ($S/N=3$). The interference effect was examined, and the experimental results showed that the selectivity and sensitivity of KGE-AY-NT1 and KGE-AY-NT2 electrodes to promethazine were not significantly affected by the presence of interfering species. The developed electrodes were applied in the determination of promethazine doped into the urine sample by the standard addition method and it was determined that the recovery values of the method were close to 100%.

1. Giriş

Prometazinin (N, N-dimetil-1-fenotiazin-10-ilpropan-2-amin), antihistaminik, yatıştırıcı, antipsikotik, analjezik ve antikolinergik özellikleri bakımından alerji, uyku problemi ve bulantıyı tedavi etmek amacıyla yaygın olarak kullanılan fenotiazinin türevi bir bileşiktir. Prometazinin insanlarda neden olduğu

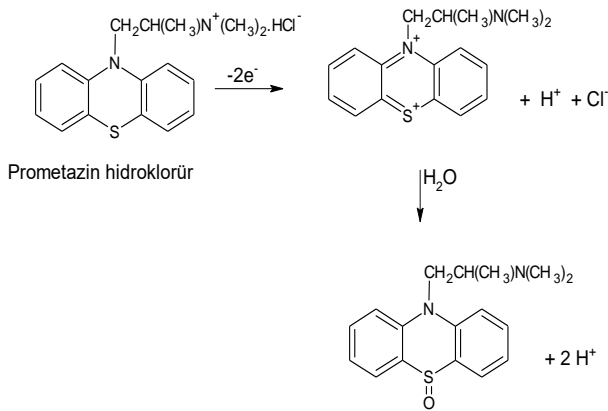
yan etkiler arasında, kardiyak, üreme değişiklikleri, endokrinale değişimler, nadiren hipotansiyon sayılabilir [1]. Bu nedenle, vücut sıvılarında ve ticari formülasyonlarda prometazinin tayini son derece önemlidir.

Prometazinin tayininde, yüksek performans sıvı kromatografisi [2, 3], gaz kromatografisi [4], kapiller

elektroforez [5-7], kemilüminesans [8], titrimetrik analizler [9], spektrofotometri [9-11] gibi birçok analitik teknik kullanılmıştır. Fakat bu analitik tekniklerin çoğu zaman alıcı olup, karmaşık ve pahalı cihazlar gerektirmektedir. Bununla birlikte son yıllarda, prometazin tayininde basit ve düşük maliyetli olması ve nispeten kısa analiz süreleri gerektirdiği için elektroanalitik teknikler (diferansiyel puls voltametri, diferansiyel puls polarografi, diferansiyel puls sıyırma voltametri, akış enjeksiyon analizli voltametri vb.) tercih edilmektedir.

Elektrokimyasal yöntemlerle prometazin tayini çalışmalarında farklı elektrot türleri ve modifiye elektrotlar tercih edilmiştir. Yapılan çalışmalarda, camı karbon elektrot [12-16], platin elektrot [14], altın elektrot [17, 18], karbon pasta elektrot [19], bor katkılı elmas elektrot [20] gibi bazı elektrotlar çalışma elektrodu olarak sıklıkla kullanılmıştır. Karbon bazlı olan kalem grafit elektrot ile prometazin tayini ise, karbon nanotüp ile modifikasyon içeren sadece bir çalışmada yer almaktadır [21]. Literatürde bilgimiz dahilinde kalem grafit elektrot ile prometazin tayini yapılan başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma ile literatürdeki önemli bir eksiklik tamamlanmıştır. Çalışmamızda kullanılacak olan kalem grafit elektrot ucuz olması, kolay temin edilebilmesi, elektrokimyasal olarak inaktif olması, düşük tayin limitine sahip olması, ön temizleme işlemi gerektirmemesi ve tek kullanılabilirlik sağlaması gibi önemli avantajlara sahiptir.

Bu çalışmada, elektrokimyasal olarak hazırlanması kolay olan nanotel yapılı kalem grafit elektrotlar ile prometazinin voltametrik tayini gerçekleştirilmiştir. Prometazin, diğer fenotiyazinler gibi, oksitleyici ajanların varlığında asidik ortamda kolayca oksidasyona uğrayabilmektedir. Şekil 1'de prometazin hidroklorür molekülünün olası oksidasyon mekanizması verilmiştir.



Şekil 1. Prometazinin oksidasyon mekanizması

Polipirol, farklı elektrot materyalleri üzerinde kararlı filmler oluşturabilmesi sebebiyle modifiye elektrot çalışmalarında sıklıkla kullanılan iletken

polimerlerden biridir. Çalışmamızda, elektrotlar dönüşümlü voltametri (CV) yöntemi ile pirolün elektropolimerizasyonu ile hazırlanmıştır. Prometazin analizleri ise diferansiyel puls voltametri (DPV) yöntemi ile yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kimyasal maddeler

Deneylerde kullanılan bütün kimyasallar analitik saflıktadır. Prometazin HCl ve lityum perklorat (LiClO_4), Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Pirol (Py), orto-fosforik asit (85%), sodyum hidroksit (NaOH), perklorik asit (HClO_4), sodyum karbonat (Na_2CO_3) ve disodyum hidrojen fosfat (Na_2HPO_4) farklı firmalardan temin edilmiştir. Çalışmada, Millipore Milli-Q Elix 10 UV su arıtma sisteminden elde edilen ultra saf su kullanılmıştır.

2.2. Elektrotlar ve cihazlar

Elektrokimyasal ölçümler NOVA 1.11 versiyon yazılımlı Autolab/PGSTAT 302N potansiyostat-galvanostat (Metrohm Autolab, İsviçre) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bütün deneyler üç elektrotlu sistemde gerçekleştirilmiştir. Çalışma elektrodu olarak nanotel yapılı kalem grafit elektrotlar, referans elektrot olarak Ag/AgCl elektrot ve karşıt elektrot olarak ise Pt tel elektrot kullanılmıştır. Elektrotların yüzey karakterizasyonu taramalı elektron mikroskobu (SEM) (FEI Quanta FEG 250, ABD) ile sağlanmıştır. pH ölçümlerinde multi pH/İyon metre (Mettler Toledo, İsviçre) cihazı kullanılmıştır. Bütün deneysel çalışmalar oda sıcaklığında yapılmıştır.

2.3. Elektrotların hazırlanması

Elektrot malzemesi olarak Faber-Castell markalı (2B, 0.7 mm çap) grafit kalem uçları tercih edilmiştir. Kalem uçları, 3 cm uzunluğunda kesilmiş ve bir aparata tutturularak kullanılmıştır. Kalem uçları yalnız halde kalem grafit elektrot (KGE) olarak ifade edilmiştir. KGE'nin elektrik iletkenliği metal tellerin lehimlenmesi ile elde edilmiştir. KGE'ler, safsızlıkları gidermek için kullanımdan önce saf su ile yıkanmıştır. KGE yüzeyinde nanotel yapılı elektrotların hazırlanması pirolün elektropolimerizasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Nanotel yapılı elektrotların hazırlanması için iki farklı yöntem kullanılmıştır.

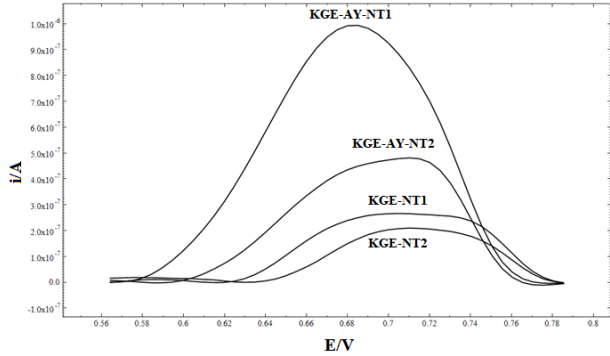
1. Yöntem: 0.1 M pirol, 0.1 M LiClO_4 ve 0.1 M Na_2CO_3 , 15 mL saf su içinde çözülerek elektrolit çözeltileri hazırlanmıştır [22]. Elektrokimyasal hücredeki çözelti içine KGE, Ag/AgCl referans elektrot ve platin tel daldırılmıştır. Elektrot 0.00-(+0.85) V potansiyel aralığında, 100 mV/s tarama hızında ve 4 döngüde CV yöntemi ile hazırlanmıştır. Elde edilen elektrot önce saf su ile yıkanmış daha sonra ise CO_3^{2-} iyonlarının uzaklaştırılması amacıyla 24 saat boyunca %10'luk HClO_4 çözeltisinde şartlandırılmıştır. Hazırlanan

nanotel yapıları elektrot KGE-NT1 olarak ifade edilmiştir.

2. Yöntem: 0.1 M pirol, 0.1 M LiClO₄ ve 0.1 M Na₂HPO₄, 15 mL saf su içinde çözülerek elektrolit çözeltileri hazırlanmıştır [23]. Elektrokimyasal hücredeki çözelti içine KGE, Ag/AgCl referans elektrot ve platin tel daldırılmıştır. Elektrot 0.00-(+0.85) V potansiyel aralığında, 100 mV/s tarama hızında ve 4 döngüde CV yöntemi ile hazırlanmıştır. Elde edilen elektrot saf su ile yıkanmıştır. Hazırlanan bu nanotel yapıları elektrot KGE-NT2 olarak ifade edilmiştir.

Hazırlanan nanotel yapıları elektrotların performans özelliklerinin belirlenmesi için öncelikle aşırı yükseltgeme işleminin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla hem aşırı yükseltgeme işlemi uygulanmış hem de uygulanmamış elektrotlar hazırlanarak DPV yöntemi ile prometazinin tayini yapılmıştır. Bu amaçla, hazırlanan KGE-NT1 ve KGE-NT2 elektrotlara, 0.1 M NaOH sulu çözelti içerisinde 0.0 V ile +1.0 V potansiyel aralığında, 50 mV/s tarama hızında ve 20 döngüde CV yöntemi ile aşırı yükseltgeme işlemi uygulanmıştır. İşlem sonrasında elektrotlar KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 olarak ifade edilmektedir.

Şekil 2'den de görüldüğü gibi aşırı yükseltgeme işlemi uygulanan KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 elektrotların prometazine karşı cevabının aşırı yükseltgeme işlemine tabi tutulmamış KGE-NT1 ve KGE-NT2 elektrotlara göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle çalışmanın diğer kısımlarında elektrotlara aşırı yükseltgeme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 2. 0.1 mM prometazinin tayininde aşırı yükseltgeme işlemi uygulanmış ve uygulanmamış elektrotlara ait diferansiyel puls voltamogramlarının karşılaştırılması

Çeşitli iletken polimerler (polianilin (PANI), politiyofen (PTh), polipirol (PPy) vb.) modifiye elektrotlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İletken polimerler arasında, polipirol, kararlı filmlerinin çeşitli materyaller üzerinde uygun şekilde elektropolimerizasyonunun yapılabilmesi, hazırlama kolaylığı, yüksek iletkenlik, yüksek stabilite ve geniş uygulama alanı gibi avantajları ile oldukça ilgi görmektedir. Ayrıca PPy, pH nötr çözeltilerde bile iyi bir elektrik iletkenliğine ve elektrokimyasal redoks aktivitesine sahiptir [24, 25]. PPy'nin yüksek pozitif

potansiyel değerlerinde geri dönüşümsüz oksidasyonu (yani aşırı yükseltgeme) ile PPy filmi için elektriksel iletkenlik kaybı meydana gelmektedir [26]. Literatürdeki çalışmalar ilaç gibi katyonik türlere karşı seçiciliği arttırmak için aşırı yükseltgenmiş filmlerin kullanılmasını vurgulamaktadır [26-28]. Aşırı yükseltgeme ile polipirol elektroaktifliğini kaybetmekte ve oksijen içeren gruplar (karbonil, karboksilat vb.) yapıya katılmaktadır. Bu tür grupların polipirol yapısına katılması sonucu katyonik yüklerin azalması sebebiyle aşırı yükseltgenmiş polipirol filmleri, katyonik türlere (metal iyonları, ilaçlar vb.) karşı daha fazla seçicilik göstermektedir [24, 26, 27, 29]. Bu durum Şekil 2'de görülen sonuç ile de uyumludur. Ayrıca, aşırı yükseltgeme işlemine tabi tutulmuş nanotel yapıları elektrotların prometazine karşı performansını karşılaştırmak amacıyla aynı koşullarda polipirol elektrot da hazırlanmıştır. Bu amaçla elektrot, 0.1 M pirol ve 0.1 M LiClO₄ içeren elektrolit çözeltisinde aynı koşullarda hazırlanmıştır. Hazırlanan bu elektrot KGE-AY-PPy olarak ifade edilmiştir.

2.4. Voltametrik ölçümler

Elektrot hazırlama parametreleri ve pH'nın optimum değerleri belirlendikten sonra analiz aşamasına geçilmiştir. Öncelikle, belirlenen optimum şartlar altında hazırlanmış olan KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 elektrotların, sadece tampon çözelti içinde (prometazinin içermeyen pH 4 fosfat tampon çözeltisi) 5'er kez diferansiyel puls voltamogramları alınmıştır. Her bir ölçüm için bu aşamadan sonra analize geçilmiştir. Sonrasında 5 mM'lık prometazinin stok çözeltisinden hücreye 0.05-0.5 mM derişim aralığında eklemeler yapılarak 3'er tekrarlı diferansiyel puls voltamogramları alınmıştır. Elde edilen voltamogramlardan derişim ve pik akımı arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Voltamogramlardaki akım değerleri 3 tekrar ölçümün ortalamasıdır. Her bir derişim için voltamogramların piklerinden elde edilen maksimum akım değerleri ile bir kalibrasyon doğrusu oluşturulmuştur.

3. Bulgular

3.1. Yüzey karakterizasyonu

Hazırlanan elektrotların yüzey karakterizasyonu için, SEM görüntüleri FEI Quanta FEG 250 model taramalı elektron mikroskobu ile elde edilmiştir. Ayrıca, elektrotların SEM-EDS analizleri de yapılmıştır. Elektrotların Şekil 3'te verilen SEM görüntüleri incelendiğinde, elektrotların yüzey karakterizasyonlarının farklı olduğu görülmektedir.

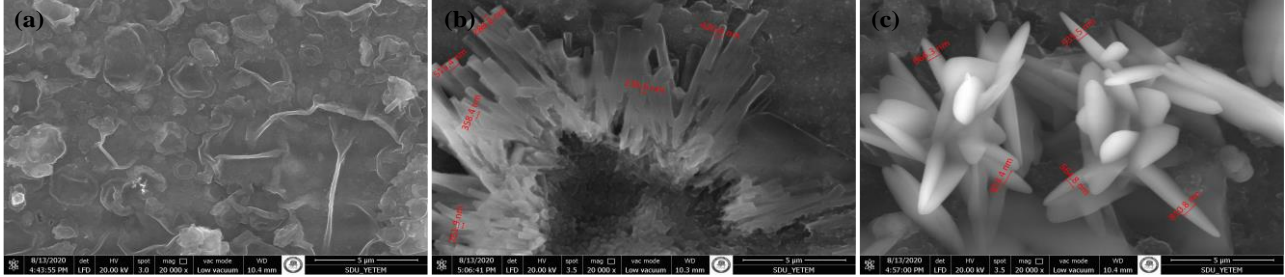
KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 elektrotların SEM görüntüleri elektrot yüzeyinde nanotel yapılarının oluştuğunu göstermektedir (Şekil 3b-c). Elde edilen nanotel yapıların boyutları başarılı bir şekilde 235.6

nm'ye kadar indirilebilmiştir. Çalışmada, elektrokimyasal olarak cevabı iyileştiren faktörlerden biri olan yüzey alanının artırılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, nanotel yapı elde edilmesi ile elektrodun cevabını olumlu yönde etkileyen yüzey alanının artırılması sağlanmıştır.

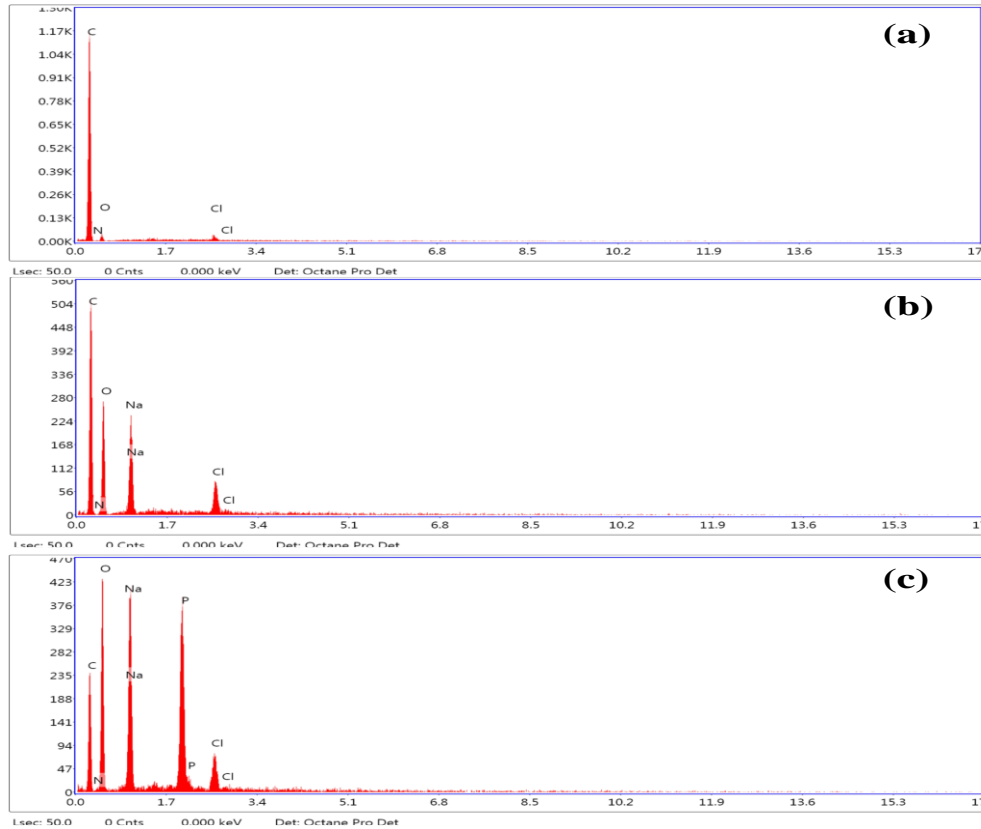
SEM-EDS grafikleri, Şekil 4a-c'de verilmiştir. Elementel analizler ise Tablo 1'de listelenmiştir. KGE-AY-PPy elektrodun hazırlanmasında PPy ve LiClO₄ kullanılmıştır. PPy'nin C, H ve N'dan oluşan genel bir formülü vardır. KGE-AY-PPy elektrodun yapısı, Şekil

4(a)'da SEM-EDS grafiği ve Tablo 1'de verilen atom miktarları ile doğrulanmaktadır.

KGE-AY-NT1 elektrodun hazırlanmasında pirol, LiClO₄ ve Na₂CO₃ kullanılmıştır. KGE-AY-NT1 elektrodun yapısı, Şekil 4(b)'de SEM-EDS grafiği ve Tablo 1'de verilen atom miktarları ile doğrulanmaktadır. KGE-AY-NT2 elektrodun hazırlanmasında pirol, LiClO₄ ve Na₂HPO₄ kullanılmıştır. KGE-AY-NT2 elektrodun yapısı, Şekil 4(c)'de SEM-EDS grafiği ve Tablo 1'de verilen atom miktarları ile doğrulanmaktadır.



Şekil 3. Elektrotların SEM görüntüleri (a) KGE-AY-PPy, (b) KGE-AY-NT1, (c) KGE-AY-NT2.



Şekil 4. Elektrotların SEM-EDS grafikleri (a) KGE-AY-PPy, (b) KGE-AY-NT1, (c) KGE-AY-NT2.

Tablo 1. Hazırlanan elektrotların atom miktarları.

Element	KGE-AY-PPy elektrot		KGE-AY-NT1 elektrot		KGE-AY-NT2 elektrot	
	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom
C	82.33	85.72	53.93	63.06	37.69	48.89
N	7.38	6.59	1.58	1.58	1.24	1.38
O	9.48	7.41	32.32	28.37	34.97	34.06
Cl	0.81	0.29	2.09	0.83	1.98	0.87
Na	-	-	10.09	6.16	15.19	10.30
P	-	-	-	-	8.92	4.49

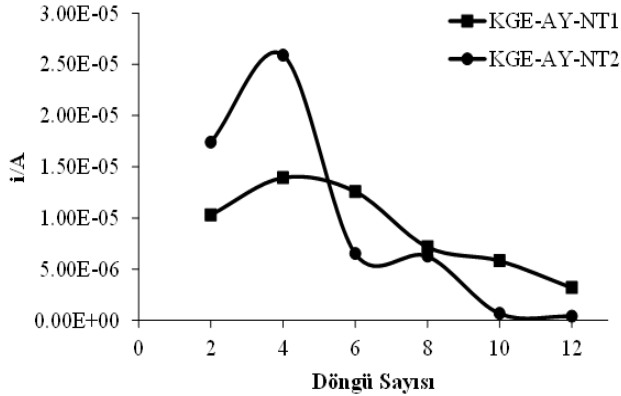
- : tayin edilmedi

3.2. Elektrot hazırlama parametrelerinin optimizasyonu

3.2.1. Elektrot cevabına döngü sayısının etkisi

Optimum döngü sayısı, polimerik tabakanın etkinliğini etkilemektedir. Bu tabaka elektrodun "algılama, tanıma" özelliğinden sorumludur. Elektropolimerizasyon sırasında uygulanan döngü sayısının, sensörün hassasiyetini ve doğrusallığını etkilediği bilinmektedir [24].

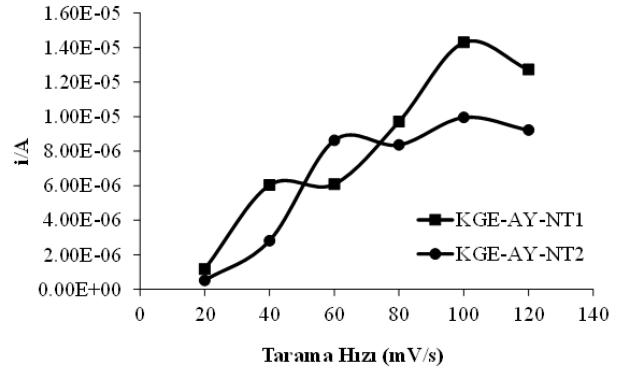
Optimum elektropolimerizasyon döngü sayısını belirlemek amacıyla, farklı döngü sayılarında (2, 4, 5, 6, 8, 10, 12), 0.00-(+0.85) V potansiyel aralığında ve 100 mV/s tarama hızında CV yöntemi ile elektropolimerizasyon işlemi gerçekleştirilerek elektrotlar elde edilmiştir. Hazırlanan elektrotlar aşırı yükseltgeme işlemine tabi tutulduktan sonra, her bir elektrot ile ayrı ayrı 0.1 mM prometazin içeren pH 4 fosfat tampon çözeltisinde, DPV analizi yapılmıştır. Elde edilen voltamogramlardan, farklı döngü sayılarına göre elde edilen maksimum akım değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5'te, 4 döngü sayısının altında ve üstündeki döngü sayılarında elde edilen akım değerlerinde düşüş görülmektedir. Bu sebeple, çalışmamızda her iki elektrot için optimum döngü sayısı 4 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Elektrotların cevabına döngü sayısının etkisi.

3.2.2. Elektrot cevabına tarama hızının etkisi

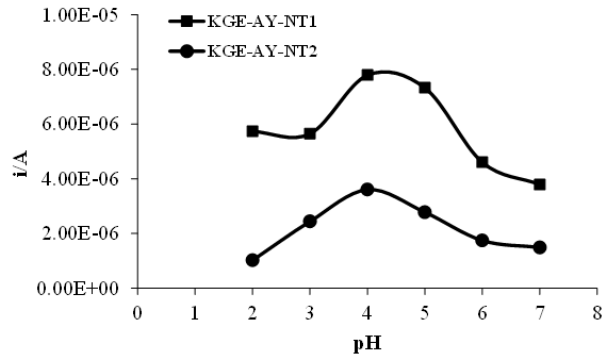
Tarama hızının optimizasyonu için, 20 mV/s aralıklarla farklı tarama hızlarında (20-120 mV/s), 0.00-(+0.85) V potansiyel aralığında CV yöntemi uygulanarak 4 döngülü elektrotlar hazırlanmıştır. Elektrotların aşırı yükseltgeme işleminden sonra, 0.1 mM prometazin içeren pH 4 fosfat tampon çözeltisinde DP voltamogramlarından, elde edilen maksimum akım değerleri ve tarama hızı arasındaki ilişki Şekil 6' da verilmiştir. 100 mV/s tarama hızının altında ve üstündeki değerlerde hazırlanan elektrotların performansında önemli bir azalma olmuştur. Her iki elektrot için de en yüksek pik akım değeri 100 mV/s tarama hızında gözlemlenmiştir. Bu değer literatürdeki çalışmalarla da uyumludur [30, 31].



Şekil 6. Elektrotların cevabına tarama hızının etkisi.

3.2.3. Elektrot cevabına ortam pH'sının etkisi

Prometazinin elektrokimyasal oksidasyonu üzerinde, pH faktörünün etkisi, farklı pH değerlerinde (2, 3, 4, 5, 6, 7) hazırlanan fosfat tampon çözeltilerinde, DPV yöntemi ile incelenmiştir. Hazırlanan elektrotlar ile öncelikle, prometazin içermeyen sadece tampon çözeltiler içerisinde 5'er defa analiz alınmıştır. Tüm pH değerlerindeki tampon çözeltilerine 0.1 mM prometazin ilave edilerek, 0.0-(+1.0) V potansiyel aralığında, KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 elektrotlar ile alınan DP voltamogramlarından elde edilen maksimum pik akım değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 7). Grafikten de görüldüğü gibi her iki elektrot için de 0.1 mM prometazine karşı pH 4 değerinde maksimum pik akım cevabı elde edilmiştir. Bu nedenle optimum pH değeri pH 4 olarak belirlenmiştir.



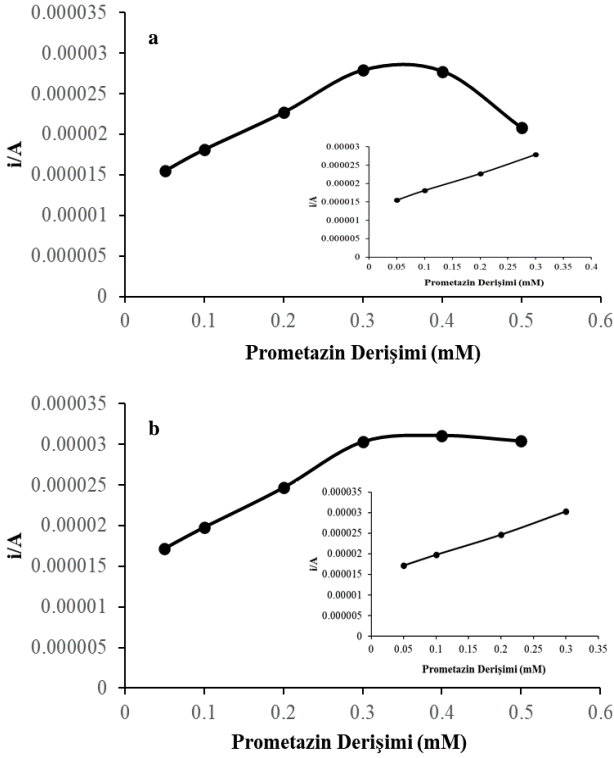
Şekil 7. Elektrotların performansına ortam pH'sının etkisi.

3.3. Diferansiyel puls voltametri (DPV) ile prometazin tayini

Prometazinin elektrokimyasal tayini, optimum koşullarda hazırlanan KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 elektrotları ile, farklı derişimlerde (0.05-0.5 mM) prometazin içeren tampon çözeltide (pH 4.0) DPV yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Her bir derişim için üçer kez ölçüm alınmıştır.

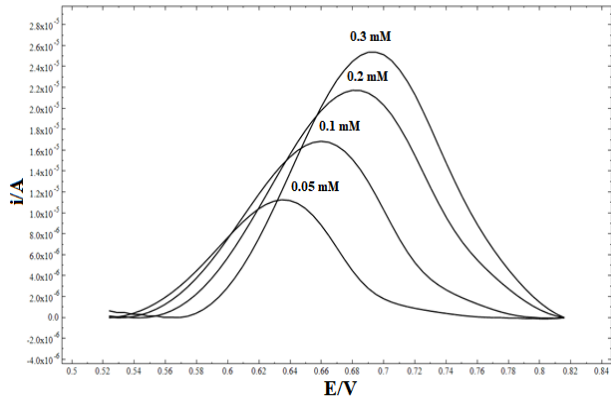
Şekil 8'de KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 elektrotlar kullanılarak elde edilen maksimum pik akım değerleri ile kalibrasyon grafikleri verilmiştir. Şekil 8 (a)'da, KGE-AY-NT1 elektrot ile elde edilen

maksimum pik akım değerleri ile prometazinin derişimleri grafiğe geçirildiğinde 0.05-0.3 mM aralığında bir doğrusallık ($R^2= 0.9995$) görülmektedir. KGE-AY-NT1 elektrot için gözlenebilir sınırlar (LOD) 0.015 mM ve kantitatif tayin sınırı (LOQ) 0.044 mM olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde Şekil 8 (b)'de, KGE-AY-NT2 elektrotu ile elde edilen kalibrasyon grafiğinde, 0.05-0.3 mM aralığında bir doğrusallık ($R^2= 0.9996$) görülmektedir. KGE-AY-NT2 elektrot için LOD değeri 0.012 mM ve LOQ değeri 0.036 mM olarak hesaplanmıştır.

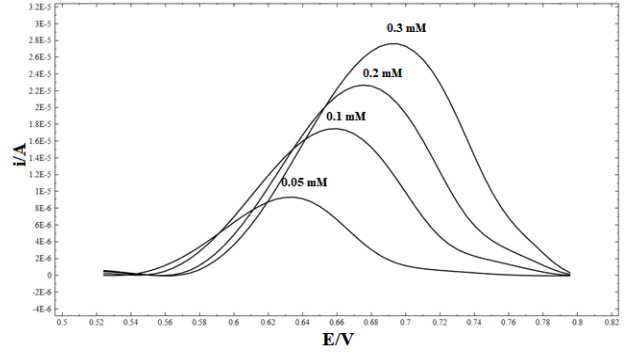


Şekil 8. DPV yöntemi ile elde edilen kalibrasyon grafikleri (A) KGE-AY-NT1 elektrot, (B) KGE-AY-NT2 elektrot.

Hazırlanan elektrotlar kullanılarak doğrusal çalışma aralığında elde edilen DP voltamogramları Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Her iki elektrot için de artan derişim ile pik şiddetlerinin arttığı görülmektedir.

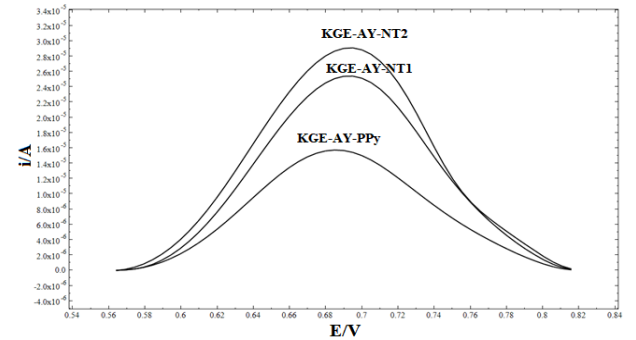


Şekil 9. KGE-AY-NT1 elektrot ile farklı prometazinin derişimlerinde alınan diferansiyel puls voltamogramları.



Şekil 10. KGE-AY-NT2 elektrot ile farklı prometazinin derişimlerinde alınan diferansiyel puls voltamogramları.

0.3 mM prometazinin içeren fosfat tampon çözeltisi (pH 4.0) içerisinde KGE-AY-NT1, KGE-AY-NT2 ve KGE-AY-PPy elektrotlar ile alınan diferansiyel puls voltamogramları Şekil 11'de karşılaştırılmıştır. Aynı derişimde ve aynı şartlarda, elde edilen DP voltamogramlarına bakıldığında KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 elektrotlar ile elde edilen akım cevaplarının, KGE-AY-PPy elektrot ile elde edilen akım cevabına kıyasla yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç nanotel yapı amaçlı modifikasyon işleminin, prometazine karşı seçiciliği arttırdığını vurgulamaktadır. Bu durum nanotel yapı ile yüzey alanının artması ile açıklanabilmektedir. 0.3 mM prometazinin derişiminde KGE-AY-NT1 elektrot ile 2.54×10^{-5} A değerinde pik akımı görülürken, bu derişimde KGE-AY-NT2 elektrot ile 2.90×10^{-5} A değerine ulaşılmıştır. KGE-AY-PPy elektrot ile ise 1.57×10^{-5} A değerinde pik akımı görülmüştür. Bu sonuçlar, çalışmamızda hazırlanan nanotel yapıli elektrotların, prometazine karşı KGE-AY-PPy elektrottan daha hassas ve seçici olduğunu göstermektedir.



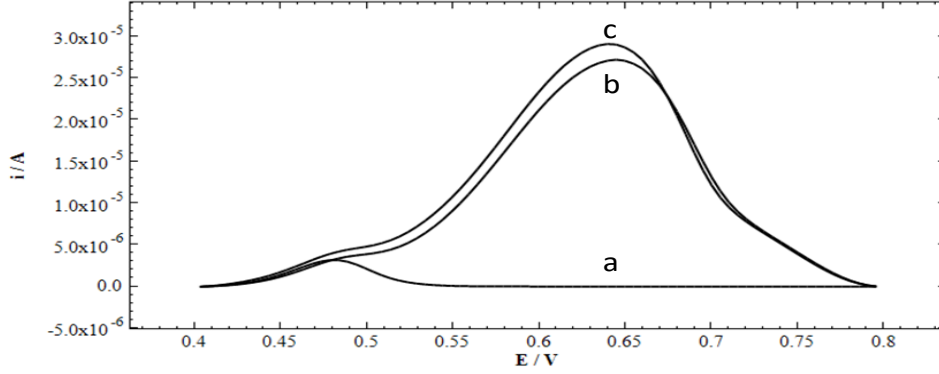
Şekil 11. 0.3 mM prometazinin tayininde elektrotların diferansiyel puls voltamogramlarının karşılaştırılması.

3.4. Girişim yapan türlerin elektrot cevabı üzerine etkisi

Potansiyel girişim molekülleri olarak, insan serumunda bulunan askorbik asit ve glikoz incelenmiştir. Prometazinin derişimi 0.2 mM'da sabit tutulurken, girişim yapabilecek moleküller 0.05-0.30 mM derişim aralığında artırılmış ve DPV yöntemiyle elektrotların prometazine karşı cevabı üzerindeki etkileri (akım cevaplarına olan etkileri) araştırılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. KGE-AY-NT1 elektrot ve KGE-AY-NT2 elektrot ile 0.2 mM prometazin varlığında, çeşitli derişimlerde girişim potansiyeli olan türlerin akım cevabı üzerine etkisi.

Girişim yapan türler	Girişim yapan türlerin konsantrasyon değerleri (mM)	Akım değerlerindeki değişim (μA)	
		KGE-AY-NT1	KGE-AY-NT2
Askorbik Asit	0.05	2.623	2.136
	0.1	6.053	2.757
	0.2	6.940	4.086
	0.3	9.054	6.235
Glikoz	0.05	2.362	0.248
	0.1	2.668	0.412
	0.2	5.822	0.895
	0.3	7.935	1.635

**Şekil 12.** İdrarda prometazin tayinine ait DP voltamogramları, (a) prometazin katkılanılmamış çözelti, (b) KGE-AY-NT1 ile tayin edilen 0.1 mM prometazin katkılanılmış çözelti, (c) KGE-AY-NT2 ile tayin edilen 0.1 mM prometazin katkılanılmış çözelti.**Tablo 3.** İnsan idrarında prometazin tayini ve geri kazanım sonuçları.

	Prometazin			
	KGE-AY-NT1		KGE-AY-NT2	
İlave edilen (mM)	0.100	0.200	0.100	0.200
Tayin edilen (mM)	0.101	0.201	0.098	0.198
Bağıl standart sapma % (N=3)	0.049	0.026	0.016	0.030
Geri kazanım (%)	101.00	100.50	98.00	99.00

0.2 mM prometazin varlığında, girişim yapan türlerin ortamda bulunmadığı durumda DP voltamogramından elde edilen akım cevabı yaklaşık 0.03 mA'dır. Girişim etkisi incelenen moleküllerin etkisiyle mevcut yanıtta değişim, 0.248-9.054 μA aralığındadır. Sonuçlar, her iki elektrodun prometazine karşı seçicilik ve hassasiyetinin, girişim yapan elektroaktif türlerin varlığından önemli ölçüde etkilenmediğini göstermiştir.

3.5. Prometazinin idrar numunesinde elektrokimyasal tayini

Geliştirilen elektrotlar ile prometazinin idrarda tayin edilmesine yönelik uygulanabilirliği de test edilmiştir. Sağlıklı bir insanda, prometazin vücuda alınmadıkça idrarda bulunmamaktadır. Bunun için standart ekleme yöntemi uygulanmıştır. Sağlıklı bir insandan alınmış idrar atık numunesi 1:20 oranında saf su ile seyreltilmiştir. Seyreltilmiş idrardan 2 mL'lik miktar alınmış, üzerine 3 mL asetonitril eklenerek numune içerisindeki proteinler çöktürülmüştür. Böylece, proteinlerin bozucu etki oluşturması engellenmiştir.

5 mL'lik karışım içine farklı derişimlerde prometazin (0.1 mM ve 0.2 mM) ilave edilmiş ve hacim 15 mL'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilerde KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 elektrotları ile DPV ölçümleri alınmıştır. Her bir derişim için üç tekrarlı ölçümler yapılmıştır.

Şekil 12'de nanotel yapıllı elektrotlarla prometazin katkılanılmamış ve 0.1 mM katkılanılmış çözeltilerde elde edilen DP voltamogramları görülmektedir. Şekil 12 (a)'da görüldüğü gibi prometazin katkılanılmamış idrarda prometazin bulunmadığı görülmektedir.

Prometazinin idrar numunesindeki tayin ve geri kazanım analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Literatürde, elektrokimyasal ve kromatografik yöntemler kullanılarak idrar numunelerindeki prometazin analizlerinin yapıldığı çalışmalarda geri kazanım değerleri % 91.33-107.25 aralığındadır [1, 2, 15]. Çalışmamızda elde edilen geri kazanım değerlerinin literatürdeki birçok çalışmadan daha iyi olduğu görülmektedir. Sonuçlar, önerilen nanotel

Tablo 4. Prometazın tayini için farklı elektroanalitik çalışmaların karşılaştırılması.

Çalışma Elektrodu	Metot	pH	LOD (mM)	Çalışma aralığı (mM)	Ref.
Pt elektrot	Doğrusal taramalı voltametri	Fosfat tamponu (7.0)	0.080	0.1-1	[14]
Camsı karbon elektrot	Dönüşümlü voltametri	Asetat tamponu (4.7)	0.020	0.06-0.8	
Modifiye karbon pasta elektrot	Kare dalga voltametri	Fosfat tamponu (7.0)	0.006	0.02-0.1	[19]
Altın kaplanmış cam modifiye elektrot	Dönüşümlü voltametri	BR tamponu (6)	0.002	0.002-0.036	[32]
Au elektrot	Akış-enjeksiyon spektroeletroanalitik	-	0.030	0.001-5	[33]
PVC membran elektrot	Potansiyometri	(3.5-6.3)	0.010	0.01-10	[34]
Nanotel yapıli KGE	Diferansiyel puls voltametri	Fosfat tamponu (4.0)	0.015 0.012	0.05-0.3	Mevcut çalışma

yapılı elektrotların ve yöntemin gerçek numunelerde yüksek hassasiyetle prometazinin tayini için kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada, prometazın tayini için KGE temelli polimerik nanotel yapıli elektrotlar (KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2) hazırlanmıştır. İncelenen literatür taramasında karbon bazlı olan KGE ile prometazın tayinine tek bir çalışmada rastlanmıştır. Bunun dışında literatürde farklı elektrot türleri prometazın tayininde kullanılmıştır. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar ile literatürde prometazın tayini ile ilgili yapılmış bazı elektrokimyasal çalışmalar Tablo 4'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde çalışmamızda kullanılan nanotel yapıli elektrotlar ile prometazın tayininde elde edilen sonuçların literatür çalışmaları ile uyumlu olup, bazı literatür değerlerinden ise kısmen daha iyi olduğu görülmektedir. Ancak bu elektrotların, çalışmamızda hazırlanan nanotel yapıli KGE'lar ile kıyaslandığında zaman alıcı ön yüzey temizleme gereksinimleri, modifikasyon aşamaları ve elektrot malzemelerinin pahalı olması gibi dezavantajlara sahip olduğunun altı çizilmelidir. Çalışmamızda, düşük maliyet, kolay temin edilebilme, ön temizleme işlemi gerektirmeme, yüksek elektrokimyasal reaktivite, iyi mekanik dayanıklılık ve tek kullanılabilirlik sağlaması sebebiyle elektrot materyali olarak kalem grafit elektrot kullanılmıştır. KGE yüzeyinde pirolün elektropolimerizasyonu sırasında uygulanan iki farklı metot ile nanotel yapıli elektrotlar hazırlanmıştır. Böylece, elektrot yüzey alanı arttırılmıştır. Deney sonuçları nanotel yapı amaçlı modifikasyon işleminin, prometazine karşı seçiciliği arttırdığını açık bir şekilde göstermiştir. Hazırlanan nanotel yapıli elektrotlar ile prometazın tayini için yapılan deneyler sonucunda, doğrusal

çalışma aralığına 0.05-0.3 mM derişim aralığında (KGE-AY-NT1; $R^2=0.9995$ ve KGE-AY-NT2; $R^2=0.9996$) ulaşılmıştır. KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 elektrotlar için gözlenebilme sınırları (LOD) sırasıyla 0.015 mM ve 0.012 mM olarak bulunmuştur ($S/N=3$). Geliştirilen elektrotlar ile prometazın gerçek numunedeki tayini için idrar numunesinde standart ekleme yöntemi ile analiz yapılmıştır. KGE-AY-NT1 ve KGE-AY-NT2 elektrotlar ile yapılan analiz sonuçlarına göre, 0.1 mM prometazın ilavesi için geri kazanımlar sırasıyla, %101.00 ve % 98.00 iken 0.2 mM prometazın ilavesi için geri kazanımlar sırasıyla %100.50 ve %99.00 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar; prometazın tayininde diğer analitik yöntemlere alternatif olarak nanotel yapıli kalem grafit elektrotların kullanıldığı hızlı, uygulanması kolay, herhangi bir ön numune işlemine gerek duyulmayan, hassas ve seçici bu elektroanalitik yöntem geliştirildiğini ve bunun başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Honarmand, E., Motaghedifard, M. H., Hadi, M., Mostaanzadeh, H. 2016. Electro-oxidation Study of Promethazine Hydrochloride at The Surface of Modified Gold Electrode Using Molecular Self Assembly of a Novel Bis-thio Schiff Base from

- Ethanol Media. *Journal of Molecular Liquids*, 216, 429-439.
- [2] Ponder, G. W., Stewart, J. T. 1995. A Liquid Chromatographic Method for The Determination of Promethazine Enantiomers in Human Urine and Serum Using Solid-Phase Extraction and Fluorescence Detection. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 13, 1161-1166.
- [3] Vanapalli, S. R., Kambhampati, S. P., Putcha, L., Bourne, D. W. A. 2001. A Liquid Chromatographic Method for The Simultaneous Determination of Promethazine and Three of Its Metabolites in Plasma Using Electrochemical and UV Detectors. *Journal of Chromatographic Science*, 39, 70-72.
- [4] Leelavathi, D. E., Dressler, D. E., Soffer, E. F., Yachetti, S. D., Knowles, J. A. 1985. Determination of Promethazine in Human Plasma by Automated High-Performance Liquid Chromatography with Electrochemical Detection and by Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 339, 105-115.
- [5] Pereira, P. F., Marra, M. C., Cunha, R. R., da Silva, W. P., Munoz, R. A. A., Richter, E. M. 2014. Two Simple and Fast Electrochemical Methods for Simultaneous Determination of Promethazine and Codeine. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 713, 32-38.
- [6] Cunha, R. R., Ribeiro, M. M. A. C., Munoz, R. A. A., Richter, E. M. 2017. Fast Determination of Codeine, Orphenadrine, Promethazine, Scopolamine, Tramadol, and Paracetamol in Pharmaceutical Formulations by Capillary Electrophoresis. *Journal of Separation Science*, 40, 1815-1823.
- [7] Yang, F., Zhou, K., Lu, Y., Yoshida, H., Yang, H. 2019. Simultaneous Determination of Promethazine and Its Metabolites by Improved Capillary Electrophoresis Coupled with Electrochemiluminescence. *International Journal of Electrochemical Science*, 14, 9159-9169.
- [8] Sultan, S. M., Hassan, Y. A. M., Abulkibash, A. M. 2003. Chemiluminescence Assay of Promethazine Hydrochloride Using Acidic Permanganate Employing Flow Injection Mode Operated with Syringe and Peristaltic Pumps. *Talanta*, 59, 1073-1080.
- [9] Basavaiah, K., Charan, V. S. 2003. New Titrimetric and Spectrophotometric Methods for The Determination of Promethazine Theoclate Using Metavanadate. *Indian Journal of Chemical Technology*, 10, 355-362.
- [10] Basavaiah, K., Swamy, J. M. 2001. Application of Potassium Dichromate and Iron-Thiocyanate in The Spectrophotometric Investigations of Phenothiazines. *II Farmaco*, 56, 579-585.
- [11] Lantam, A., Limbut, W., Thiagchanya, A., Phonchai, A. 2020. A Portable Optical Colorimetric Sensor for The Determination of Promethazine in Lean Cocktail and Pharmaceutical Doses. *Microchemical Journal*, 159, 105519.
- [12] Ni, Y., Wang, L., Kokot, S. 2001. Voltammetric Determination of Chlorpromazine Hydrochloride and Promethazine Hydrochloride with The Use of Multivariate Calibration. *Analytica Chimica Acta*, 439, 159-168.
- [13] Yang, Z. S., Zhao, J., Zhang, D. P., Liu, Y. C. 2007. Electrochemical Determination of Trace Promethazine Hydrochloride by a Pretreated Glassy, Carbon Electrode Modified with DNA. *Analytical Sciences*, 23, 569-572.
- [14] Uslu, B., Biryol, İ., Özkan, S. A., Şentürk, Z. 1996. Voltammetric Determination of Promethazine by Platinum and Glassy Carbon Electrodes. *Turkish Journal of Chemistry*, 20, 323-328.
- [15] Xi, X., Ming, L., Liu, J. 2011. Voltammetric Determination of Promethazine Hydrochloride at a Multi-Wall Carbon Nanotube Modified Glassy Carbon Electrode. *Drug Testing and Analysis*, 3, 182-186.
- [16] Arumugam, B., Muthukutty, B., Chen, S. M., Ramaraj, S. K., Kumar, J. V., Nagarajan, E. R. 2020. Ultrasonication-Aided Synthesis of Nanoplates-Like Iron Molybdate: Fabricated Over Glassy Carbon Electrode as An Modified Electrode for The Selective Determination of First Generation Antihistamine Drug Promethazine Hydrochloride. *Ultrasonics Sonochemistry*, 66, 104977.
- [17] Xiao, P., Wu, W., Yu, J., Zhao, F. 2007. Voltammetric Sensing of Promethazine on a Multi-Walled Carbon Nanotubes Coated Gold Electrode. *International Journal of Electrochemical Science*, 2, 149-157.
- [18] Li, J., Zhao, F., Zeng, B. 2007. Characterization of a Graphite Powder-Ionic Liquid Paste Coated Gold Electrode, and a Method for Voltammetric Determination of Promethazine. *Microchimica Acta*, 157, 27-33.
- [19] Marco, J. P., Borges, K. B., Tarley, C. R. T., Ribeiro, E. S., Pereira, A. C. 2013. Development of a Simple, Rapid and Validated Square Wave Voltammetric Method for Determination of Promethazine in Raw Material and Pharmaceutical Formulation Using DNA Modified Multiwall Carbon Nanotube Paste Electrode. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 177, 251-259.
- [20] Ribeiro, F. W. P., Cardoso, A. S., Portela, R. R., Lima, J. E. S., Machado, S. A. S., de Lima-Neto, P.,

- de Souza D., Correia, A. N. 2008. Electroanalytical Determination of Promethazine Hydrochloride in Pharmaceutical Formulations on Highly Boron-Doped Diamond Electrodes Using Square-Wave Adsorptive Voltammetry. *Electroanalysis*, 20, 2031-2039.
- [21] Amani, A. M., Motaghedifard, M. H., Honarmand, E., Motmaen, M., Ghasemi, Y., Savardashtaki, A., Monfared, A. A. 2018. Sensitive Measurement of Trace Amounts of Promethazine Hydrochloride at MWCNT-COOH Nanostructures Modified Pencil Graphite Electrode Based on Charge Transfer Complex Formation. *Indian Journal of Chemistry*, 57A, 770-777.
- [22] Tian, Y., Wang, J., Wang, Z., Wang, S. 2004. Electroreduction of Nitrite at an Electrode Modified with Polypyrrole Nanowires. *Synthetic Metals*, 143, 309-313.
- [23] Al-Mashat, L., Debiemme-Chouvy, C., Borensztajn, S., Wlodarski, W. 2012. Electropolymerized Polypyrrole Nanowires for Hydrogen Gas Sensing. *The Journal of Physical Chemistry C*, 116, 13388-13394.
- [24] Perçin Özkorucuklu, S., Şahin, Y., Alsancak, G. (2008). Voltammetric Behaviour of Sulfamethoxazole on Electropolymerized-Molecularly Imprinted Overoxidized Polypyrrole. *Sensors*, 8, 8463-8478.
- [25] Özcan, L., Şahin, Y., Türk, H. 2008. Non-Enzymatic Glucose Biosensor Based on Overoxidized Polypyrrole Nanofiber Electrode Modified with Cobalt(II) Phthalocyanine Tetrasulfonate. *Biosensors and Bioelectronics*, 24, 512-517.
- [26] Ersöz, A., Gavalas, V. G., Bachas, L. G. 2002. Potentiometric Behavior of Electrodes Based on Overoxidized Polypyrrole Films. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 372, 786-790.
- [27] Uğur, T., Yücel, Ş., Nusret, E., Yasemin, U., Kadir, P., Attila, Y. 2004. Preparation of Sulfonated Overoxidized Polypyrrole Film Applicable as an SPME Tool for Cationic Analytes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 570, 6-12.
- [28] Gao, Z., Zi, M., Chen, B. 1994. The Influence of Overoxidation Treatment on The Permeability of Polypyrrole Films. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 373(1-2), 141-148.
- [29] Şahin, M., Şahin, Y., Özcan, A. 2008. Ion Chromatography-Potentiometric Detection of Inorganic Anions and Cations Using Polypyrrole and Overoxidized Polypyrrole Electrode. *Sensors and Actuators B*, 133, 5-14.
- [30] Özcan, L., Şahin, Y. 2007. Determination of Paracetamol Based on Electropolymerized-Molecularly Imprinted Polypyrrole Modified Pencil Graphite Electrode. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 127(2), 362-369.
- [31] Amani-Beni, Z., Nezamzadeh-Ejhieh, A. 2018. NiO Nanoparticles Modified Carbon Paste Electrode as a Novel Sulfasalazine Sensor. *Analytica Chimica Acta*, 1031, 47-59.
- [32] Sandrino, B., Clemente, C. S., Oliveira, T. M. B. F., Ribeiro, F. W. P., Pavinatto F. J., Mazzetto, S. E., Lima-Neto, P., Correia, A. N., Pessoa, C. A., Wohnrath, C. 2013. Amphiphilic Porphyrin-Cardanol Derivatives in Langmuir and Langmuir-Blodgett Films Applied for Sensing. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 425, 68-75.
- [33] Daniel, D., Gutz, I. G. R. 2003. Flow Injection Spectroelectroanalytical Method for The Determination of Promethazine Hydrochloride in Pharmaceutical Preparations. *Analytica Chimica Acta*, 494, 215-224.
- [34] Ganjali, M. R., Vesimohammadi, B., Riahi, S., Norouzi, P. 2009. Promethazine Potentiometric Membrane Sensor for Promethazine Hydrochloride Pharmaceutical Analysis; Computational Study. *International Journal of Electrochemical Science*, 4, 740-754.

Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması ile Elde Edilen Portföylerin AP Yöntemi ile Etkinliklerinin Ölçülmesi

Azize Zehra ÇELENLİ BAŞARAN¹, Burçin ÖNER^{*2}

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çarşamba Ticaret Borsası MYO, Finans, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, 55500, Samsun, Türkiye

²Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bozüyük MYO, Finans, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, 11300, Bilecik, Türkiye

(Alınış / Received: 11.09.2020, Kabul / Accepted: 11.11.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

PSO,
VZA,
Karar verme birimi,
Sharpe performans oranı,
İstatistik

Özet: Ülke planında bir bütünleşme için çok yönlü yapılanma tedbirleri ve bu tedbirlerin verimlilik-etkinlik üzerindeki etkilerini ölçmek için de çok yönlü ölçüm tekniklerinin kullanımı gerekmektedir. Bu etkinlik ölçüm tekniklerinden biri de Veri Zarflama Analizidir. Veri Zarflama Analizi (VZA), girdiyi çıktıya dönüştüren karar verme birimlerinin etkinliğini ölçmek için planlanmış bir doğrusal programlama tekniğidir. Bu çalışmada, öncelikle yapay zeka yöntemlerinden biri olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması ile farklı portföy çeşitleri elde edilmiştir. Optimum portföye ulaşmak için literatürde en çok tercih edilen parametre değerleri kullanılarak, portföy çeşitliliği oluşturulmuştur ve amaç fonksiyonu olarak portföy performansı ölçüsü olan Sharpe performans oranı kullanılmıştır. Çalışmada BIST-30 endeksine ait hisse senetlerinin 02/01/2017-31/12/2017 tarihleri arasında günlük getiri oranlarından oluşan veri seti PSO algoritması ile portföy optimizasyonu için çözümlenmiştir. Çözümleme sonucu farklı getiri ve risk oranlarına sahip portföylerin etkinliklerini ölçmek amacıyla da Veri Zarflama Analizi kullanılmış ve en az risk ile en çok getiriye sahip portföy, etkin portföy olarak tanımlanmıştır. Kullanılan VZA modeli, girdi yönelimli CCR modelidir. Böylece, hangi portföylerin etkin olduğu belirlenmiştir. Daha sonra AP yaklaşımı ile KVB'lerin süper etkinlikleri incelenip etkin portföyler için de sıralama elde edilmiş ve etkin olmayan portföylerin nasıl etkin hâle getirileceği konusunda öneriler verilmiştir.

Measuring the Effectiveness of Portfolios Obtained by Particle Swarm Optimization Algorithm with AP Method

Keywords

PSO,
DEA,
Decision making
unit,
Sharpe performance
ratio,
Statistic

Abstract: In the country plan, versatile structuring measures are required for integration and multidimensional measurement techniques are required to measure the effects of these measures on effectiveness. One of these effectiveness measurement techniques is also Data Envelopment Analysis. Data Envelopment Analysis (DEA) is a linear programming technique planned to measuring effectiveness of decision making units that convert input into output. First of all, different portfolio types were obtained by Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm that is one of the artificial intelligence methods in this study. In order to access optimum portfolio, the most preferred parameter values were created in literature and Sharpe performance ratio which is the measure of portfolio performance was used as the goal function. In the study, the data set consisting of the daily return rates of the shares of BIST-30 index between 02/01/2017-31/12/2017 was analysed for portfolio optimization with PSO algorithm. Data Envelopment Analysis was conducted to measure effectiveness of portfolios with different proceeds and risk ratios as a result of analysis and the portfolio with the least risk and the most proceed was defined as an effective portfolio. Used DEA model was input oriented CCR model. Thus, which portfolios are effective were determined. Then super effectiveness of DMUs were investigated by AP approach and were obtained a rank for effective portfolios and suggestions have been given on how to make ineffective portfolios effective.

1. Giriş

Dünya ekonomi pazarını, tek pazar yapmayı hedef alarak yeniden yapılanma sürecine giren ekonomilerde politika belirlemelerinin genel olarak “verimlilik-etkinlik” kavramı üzerine dayandırılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Ana sistemin ve onu oluşturan parçaların verimliliklerinin rekabetçi bir düzeye çekilmesi, kurum ve kuruluşların mülkiyet yapısı ile teknoloji ve ölçek açısından değişmelerini kaçınılmaz bir hâle getirmektedir. Bu nedenle tüm ülkeler, kamu ve özel sektörlerini iyileştirmeye, performanslarını arttırmaya, kalite düzeylerini yükseltmeye çalışmaktadır. Ülke planında bir bütünleşme için çok yönlü yapılanma tedbirleri ve bu tedbirlerin verimlilik-etkinlik üzerindeki etkilerini ölçmek için de çok yönlü ölçüm tekniklerinin kullanımı tercih edilmeye başlanmıştır. Veri Zarflama Analizi (VZA) de bahsedilen gerekleri yerine getirmek amacıyla yönelik kullanılan bir etkinlik ölçüm tekniğidir.

Veri Zarflama Analizi (VZA), literatürde “Karar Verme Birimleri (KVB)” olarak geçip, girdiyi çıktıya dönüştürmekle sorumlu işletme veya ekonomik kuruluşların görece etkinliğini ölçmek için planlanmış doğrusal bir programlama tekniğidir. Herhangi bir istatistiksel analiz tekniği, merkezî eğilim yaklaşımıyla üreticileri ortalama bir üreticiye göre değerlendirirken; VZA tekniği, her bir üreticiyi “en iyi” üreticilerle karşılaştırır. Bu karşılaştırmayı yaparken aynı girdileri kullanarak aynı çıktıları üreten, aynı tip üreticilerin verimliliğini değerlendirir [1].

Gelişen teknoloji ile piyasalarda işlem yapmak kolaylaştığı gibi yatırımcılara birçok işlem kolaylığı da sağlamaktadır. Tasarrufunu değerlendirmek isteyen her birey bir yatırımcıdır ve her yatırımcının elindeki finansal nitelikteki varlıkların tamamı, yatırımcının portföyünü oluşturmaktadır.

Literatürde Geleneksel Portföy Teorisi ve Modern Portföy Teorisi olmak üzere iki temel portföy teorisi bulunmaktadır. Geleneksel Portföy Teorisi, II. Dünya Savaşının bitimine kadar ekonomi ve finans alanında kullanılmıştır [2]. Bu teori portföyün çeşitlendirilmesi esasına dayanan ve portföyü oluşturan menkul kıymetlerin getirileri arasındaki istatistiksel ilişkileri göz ardı ederek, sadece menkul kıymet sayısını artırarak riski düşürebileceği savunmaktadır [3].

Modern portföy teorisi ise Geleneksel portföy teorisinden farklı olarak portföye dahil edilecek olan menkul kıymetler arasındaki ilişkinin de riskin azaltılması yönünde etkili olduğunu savunmuştur. Portföyün risk ve getiri gibi kavramlarının matematiksel açıdan tanımlanması, Ortalama-Varyans Modeli diye bilinen ve Markowitz tarafından geliştirilen modelle yapılmıştır [3, 4].

Literatürde, portföy optimizasyon problemlerinin çözümünde klasik yöntemler ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Fakat son yıllarda yapay zeka yöntemlerinin optimizasyon problemlerinde ulaştığı sonuçların klasik yöntemlerden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Çok bilinmeyenli ve doğrusal olmayan kısıtlı portföy optimizasyonu probleminin, geleneksel yaklaşımlar kullanarak etkin bir şekilde çözülemediğini belirten Zhu, Wang, Wang, and Chen [5] portföy optimizasyonu problemini Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılarak çözümlenmiş ve optimum portföye ulaşmıştır [3].

Çalışma da PSO algoritmasının portföy optimizasyon problemi için çözümlenmesi sonucu, farklı getiri ve risk oranlarına sahip portföylerin etkinliklerini ölçmek amacıyla da Veri Zarflama Analizi kullanılmıştır. Kullanılan Veri Zarflama Analizi modeli, çıktı değişkenine herhangi bir müdahale yapılamadığı için girdi yönelimli Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) modelidir. Bu sayede, hangi portföylerin etkin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Andersen ve Petersen (AP) yöntemi ile etkin karar verme birimleri arasında da bir sıralama yapılarak yatırımcıya daha güvenilir sonuçlar sunulmuştur. Etkin olmayan portföylerin ise nasıl etkin hâle getirileceği konusunda öneriler verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Portföy ve portföy optimizasyonu

Her birey elinde bulunan birikimini en iyi şekilde değerlendirmek istemektedir. Yatırımcı birikimini, kendisine kâr ya da getiri sağlayacak şekilde finansal nitelikte yatırım araçları ile değerlendirir. Portföy, kişinin veya kurumun elinde bulunan, üzerinde her türlü işlem yapılabilen finansal nitelikteki yatırım araçlarının tamamıdır. Portföy, hisse senedi, tahvil, hazine bonusu, döviz gibi çeşitli yatırım araçlarından oluşturulabilir.

Portföy, içerisine dâhil edilecek menkul kıymet çeşitliliği, menkul kıymetlerin portföy içi ağırlık oranları, portföyün hedeflenen beklenen getirisi, portföyün riski gibi sorular içerdiğinden bir problem haline gelmiştir. Optimum portföye ulaşmak, karşımıza portföy optimizasyon problemini çıkarmıştır.

Markowitz, portföye ait beklenen getiri ve risk kavramlarının matematiksel modelini oluşturmuştur. Yatırım analizinde ortalama varyans modelinin kullanılmasında iki temel değişken, beklenen getiri ve varyanstır [6]. Portföye dâhil edilecek menkul kıymetlerin portföy içindeki ağırlıkları ile menkul kıymet getirilerinin çarpılıp ayrı ayrı toplanması ile elde edilir [3]. Portföye ait risk ise portföyün standart sapmasıdır. Modelin temel amacı, yatırımcıya minimum riske karşılık maksimum getiri sunmaktır. Markowitz Ortalama Varyans Modeli’nde beklenen

getiri ve riskin hesaplanması Eşitlik (1) ve Eşitlik (2)'deki gibidir:

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \sigma_{ij}} \quad (1)$$

σ_p : Portföyün (standart sapması) riski,
 σ_{ij} : i. ile j. Menkul kıymetler arasındaki ilişkiyi belirten kovaryans değeri,
 x_i : i. Menkul kıymetin portföy içindeki ağırlığı,
 x_j : j. Menkul kıymetin portföy içindeki ağırlığı,
N: Portföye dahil edilen menkul kıymet sayısı.

$$E(R) = \mu = \sum_{i=1}^N x_i \mu_i \quad (2)$$

μ : Yatırım yapılan portföyün tahmin edilen beklenen getiri,
 μ_i : i. Menkul kıymetin beklenen getirisi.

Markowitz Ortalama Varyans Modele ait amaç fonksiyonu ve kısıtlar;

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min.} \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \sigma_{ij}}$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \mu &= \sum_{i=1}^N x_i \mu_i \\ \sum_{i=1}^N x_i &= 1, \\ 0 &\leq x_i \leq 1 \\ i &= 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (3)$$

Yatırım yapılan portföyün performansı sürekli değerlendirilmelidir. Çünkü yatırımcı, seçtiği portföyün hem mutlak performansını hem de diğer portföylerle karşılaştırılmalı performansını görmek ister [3, 7]. Elde edilen her portföyün performansını değerlendirmek için literatürde kullanılan çeşitli ölçüler mevcuttur. Bu çalışmada optimum portföyü belirlemek amacıyla Sharpe Performans Oranı kullanılmıştır.

Portföyün getirisi ve riski arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan bir oran formülü vardır. Bu oran; Sharpe Performans Oranıdır [8]. Sharpe performans oranı, risksiz faiz oranını aşan portföy getirisinin portföyün standart sapmasına bölünmesiyle hesaplanan bir orandır [3, 9]:

$$S_p = \frac{E(R_p) - R_f}{\sigma_p} \quad (4)$$

S_p : Portföyün Sharpe performans oranı,
 $E(R_p)$: Portföyün beklenen getirisi,
 R_f : Risksiz faiz oranı,
 σ_p : Portföyün riski,

Bir portföyün tercih edilme olasılığının artması için o portföye ait Sharpe performans oranının da yüksek çıkması gerekmektedir.

2.2. Parçacık sürü optimizasyonu yoluyla portföy optimizasyonu

Parçacık Sürü optimizasyonu (PSO), kuş ya da balık sürülerinin doğada yiyecek arayışlarından ya da belli bir yere giderken sürü psikolojisindeki etkileşimlerinden esinlenerek Eberhart ve Kennedy tarafından literatüre kazandırılmış popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon yöntemidir [10]. Sürüdeki her kuş, optimizasyon problemi için bir çözümü temsil eder. PSO'nun amacı, sürü bulunan kuşlar arasındaki sosyal bilgi paylaşımını geliştirerek optimizasyon problemini optimum sonuca ulaştırmaktır. Sürüdeki her kuş bir parçacığı ve her parçacık bir çözümü temsil eder. Parçacığa ait koordinatlar bir fonksiyona gönderilir. Bu fonksiyona uygunluk fonksiyonu denir. Böylece parçacığın uygunluk fonksiyonu ya da uygunluk değeri ölçülür. Uzayda yiyecek arayışı içinde geldiği en iyi (en yakın) uygunluk değeri ve bu değerinde elde edildiği pozisyonları PSO için optimum sonuca ulaştırmaktadır.

Optimum çözüme ulaşmak isteyen her bir parçacıklar, sahip oldukları en iyi koordinatları değil, aynı zamanda sürüde bulunan diğer parçacıkların da sahip olduğu en iyi koordinatları optimum çözüme ulaşmak için kullanırlar. Parçacığın her iterasyonda hangi yönde ve ne kadar hızla hareket edeceğini, komşularının (diğer parçacıkların) en iyi koordinatları ve kendi en iyi koordinatlarının birleşimi belirleyecektir. Parçacık optimum sonuca yaklaşırken, bir sonraki adımını hem kendisinin hem de sürünün en iyi uygunluk değerine ve pozisyonuna göre ayarlamaktadır. Parçacıklar, ilk pozisyonlarını rastgele belirleyerek çözüme başlar. Sürüdeki her parçacık, optimum hedefe ulaşmak ister. Her iterasyonda ulaşılan optimum sonuç yerel en iyi değer (p_best) ve tüm iterasyonlar boyunca ulaşılan en iyi sonuç ise global en iyi değer (g_best) olarak adlandırılır. Her iterasyonda p_best ve g_best değerleri belirlendikten sonra bir sonraki iterasyon için hız ve pozisyon değerleri güncellenir.

$$\begin{aligned} v_{ij}^{k+1} &= w * v_{ij}^k + c_1 r_1^k [pbest_{ij}^k - x_{ij}^k] + \\ & c_2 r_2^k [gbest_j^k - x_{ij}^k] \\ x_{ij}^{k+1} &= v_{ij}^{k+1} + x_{ij}^k ; i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (5)$$

Parçacıklara ait pozisyon değerleri $x_i^k = [x_{i1}^k, x_{i2}^k, x_{i3}^k, \dots, x_{id}^k]$ şeklinde ifade edilir. x parçacığı; k , iterasyon sayısını göstermektedir. Parçacıklara ait

hız değerleri $v_i^k = [v_{i1}^k, v_{i2}^k, v_{i3}^k, \dots, v_{id}^k]$ ile ifade edilir. c_1 ve c_2 bilişsel ve sosyal katsayılar olup parçacığın hafızaya alındığı en iyi bilgilerin sonraki iterasyonlara aktarılmasını etkiler; eylemsizlik ağırlığı denilen w değeri, hız vektörünün ani değişimlerini kontrol eden parametredir [11].

Optimum sonuca doğru yapılan her harekette, sürü içerisindeki en iyi uygunluk değerini veren parçacık dikkate alınır. Optimizasyon problemi için PSO algoritmasında sürü içerisindeki parçacıklardan en az birinin optimuma ulaşması beklenir [3, 12].

2.3. Veri zarflama analizi

Veri Zarflama Analizi birden çok ve farklı ölçeklerde ölçülmüş girdi ve çıktıların karşılaştırma yapmayı zorlaştırdığı durumlarda, karar verme birimlerinin görel performansını, bir diğer anlamda da etkinliğini ölçmeyi amaçlayan ve doğrusal programlamaya dayanan istatistiksel bir tekniktir [13, 14]. Böylece KVB'lerin mevcut kaynakları etkin bir biçimde nasıl kullanabileceği hususunda yol gösterici özellik taşır.

VZA, belli bir gözlem kümesi içinde en az sayıda girdi kullanarak en çok sayıda çıktı bileşimi üretebilecek KVB'yi belirlemeyi amaçlar. Bunu yaparken çoklu girdi ve çoklu çıktıları doğrusal programlama modelinde kullanır. Bu sayede her bir KVB için belli bir etkinlik skoru elde edilmesini sağlar.

Farrell [15] sınır üretim fonksiyonun temel alınmasıyla Charnes, Cooper ve Rhodes [16] tarafından literatüre kazandırılan ve günümüze kadar çeşitlendirilen VZA modelleri, eğitim, tıp, sigortacılık, bankacılık gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

I girdisi ve J çıktısı ($I, J > 0$) olan bir VZA çalışmasında etkinlikleri karşılaştırılacak N tane karar verme birimi için maksimize edilecek çıktı/girdi oranının matematiksel programlama modeli için amaç fonksiyonu Eşitlik (5)'te verildiği gibidir:

$$\text{Max } E_m = \frac{\sum_{j=1}^J u_{jm} y_{jm}}{\sum_{i=1}^I v_{im} x_{im}} \quad (6)$$

eşitliği ile kısıtlar ise;

$$0 \leq \frac{\sum_{j=1}^J u_{jm} y_{jm}}{\sum_{i=1}^I v_{im} x_{im}} \leq 1; \quad m = 1, 2, \dots, N$$

$$v_{im}, u_{jm} \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, I; \quad j = 1, 2, \dots, J$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

E_m : m. KVB'nin etkinliği,
 y_{jm} : m. KVB'nin j. çıktısı,
 u_{jm} : m. KVB'nin j. çıktısının ağırlığı,
 x_{im} : m. KVB'nin i. girdisi,
 v_{im} : m. KVB'nin i. girdisinin ağırlığıdır.

Veri Zarflama Analizi birçok model ile iç içe geçmiş bir metodoloji ve kavramlar bütünüdür [17]. Charnes, Cooper ve Rhodes [16] çalışmalarında dört temel VZA modelinin varlığından söz etmişlerdir. Bunlar; Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR), Banker, Charnes ve Cooper (BCC), Toplamsal Model ve Çarpımsal Modeldir. Bunlardan CCR ve BCC modelleri; girdiye yönelik ve çıktıya yönelik olmak üzere iki farklı şekilde kurulabilir. Eğer girdiler üzerinde kontrol azsa (ya da yoksa) çıktıya yönelik; eğer çıktılar üzerinde kontrol azsa (ya da yoksa) girdiye yönelik bir model kurulmalıdır.

Girdiye yönelik modeller de çıktıya yönelik modeller de KVB'lerde nasıl değişiklik yapılması gerektiğiyle ilgili bilgi verir. Girdiye yönelik modeller, belli bir çıktı düzeyini elde edebilmek için ilgili KVB'lerin girdilerinin ne kadar azaltılması gerektiğini; çıktıya yönelik modeller ise verilen bir girdi bileşimi ile ilgili KVB'lerde çıktıların ne kadar artırılması gerektiğini belirler [14].

Girdiye yönelik modellerde amaç, kullanılan girdi miktarının en küçüklenmesi; çıktıya yönelik modellerde, elde edilen çıktı miktarının en büyüklenmesidir [14, 16].

2.3.1. CCR modeli

Charnes, Cooper ve Rhodes [16] tarafından geliştirilen ilk VZA modeli, CCR'dır. Bu model, ölçüğe göre sabit getiri varsayımına dayanır. Bu varsayım, bir birimlik girdideki artmanın ya da azalmanın, bir birimlik çıktıda artış ya da azalışa sebep olmasına dayalıdır [18]. Bu varsayım sayesinde KVB'lerin toplam etkinlikleri ile ilgilenir.

CCR'da n tane KVB'nin her birinin m tane girdi kullanarak s tane çıktı ürettiği düşünülür. Bunun için öncelikle her bir KVB'ye ait sanal girdi, sanal çıktı ve bunların ağırlık değerlerini belirlemek gereklidir.

$$\begin{aligned} \text{Sanal girdi} &= v_1 x_{10} + \dots + v_m x_{m0} \\ \text{Sanal çıktı} &= u_1 y_{10} + \dots + u_r y_{r0} \end{aligned} \quad (7)$$

Burada;

v_i : i. girdinin ağırlığını
 u_r : r. çıktının ağırlığını temsil etmektedir.

CCR modelinin kesirli formu, aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [16].

$$\text{Max } h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (8)$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1; \quad j = 1, \dots, n \\ u_r, v_i &\geq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

Burada x_{ij} ve y_{ij} ; j. KVB'nin bilinen girdi ve çıktılarıdır.

Girdiye yönelik CCR modelinin kesirli gösterimi ise;

$$Max\theta = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (9)$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1; j = 1, \dots, n \\ \frac{u_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\geq \varepsilon; j = \overline{1, n} \\ \frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\geq \varepsilon; i = 1, \dots, m \\ u_r, v_i &\geq 0; \\ r &= 1, \dots, s; \\ i &= 1, \dots, m \end{aligned}$$

Şeklinde ve burada;

j: karar birimlerini

r: çıktıları

i: girdileri

y_{rj} : j. karar biriminin kullandığı r çıktısı miktarını

x_{ij} : j. karar biriminin kullandığı i girdisinin miktarını göstermektedir.

Optimal ağırlıklar kümesinin oluşturulmasıyla etkinlik değerlerine ulaşılır. Bu kümenin elde edilmesinde, kesirli programlama modeli n defa (KVB sayısı kadar) ayrı ayrı çözümlenmektedir. Elde edilen ağırlıklar, karar birimleri için en iyi ağırlıklardır. Etkinliğin 1 tam değerini alması, gözlemlenen performansın potansiyel performansa ulaştığı anlamını taşır [18].

Bu şekilde hesaplamaya alınan KVB'nin etkinlik skoru aşağıdaki formülden elde edilir:

$$\theta^* = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij}} \quad (10)$$

Burada;

θ^* : maksimum etkinlik skoru,

u_r^* : j. karar biriminin maksimum çıktı üretmesini sağlayan sanal çıktı ağırlıkları kümesi,

v_i^* : j. karar biriminin en az sayıda girdi kullanmasını sağlayan sanal girdi ağırlıkları kümesidir.

Buna göre, her bir KVB için elde edilen optimal ağırlıklar kümesi kullanılarak hesaplanan etkinlik skorları; $u^* > 0$ ve $v^* > 0$ için daima [0,1] aralığında kalır, yani $0 \leq \theta^* \leq 1$ 'dir [18, 19].

Sonsuz sayıda optimal çözümün üretilmesi için bu Kesirli programlama modeli kullanılır. Buradaki optimal çözüm kümesi (u^* , v^*) olduğunda, herhangi

bir ağırlık çarpanı eklendiğinde elde edilecek küme de optimal bir çözümdür. Dolayısıyla girdi ve çıktı ağırlıkları üzerinde keyfi bir durum söz konusu olur. Bunun önüne geçmek amacıyla doğrusal programlama modeli ortaya atılmıştır. Bu doğrusal programlama formuna göre; θ^* etkinlik skoru 1'i aşmayacak biçimde maksimize edilir [5,18].

Burada kesirli programlama şeklinde verilen girdiye yönelik CCR modelin, doğrusal programlamaya dönüştürülmüş formu aşağıdaki gibidir:

$$Max_{v, u} u y_0$$

Kısıtlar;

(11)

$$\begin{aligned} v x_0 &= 1 \\ -v X + u Y &\leq 0 \\ v \geq 0; u &\geq 0 \end{aligned}$$

u: Çıktı çarpanı vektörlerini

v: Girdi çarpanları vektörünü temsil etmektedir.

VZA çoklu girdi ve çıktı içeren KVB'lerin görelî etkinliğini ölçmesinin yanında bu KVB'lerdeki etkinsizlik miktarını ve nereden kaynaklandığını belirten doğrusal programlama tabanlı ve parametrik olmayan bir tekniktir [13, 17]. Bu da özellikle rekabet içerikli alanlarda yapılan üretimlerin kazançlı olabilmesi için VZA'yı popüler bir yöntem hâline getirir. Ancak VZA'nın doğru sonuçlar verebilmesi için belli başlı koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu koşullar, girdi ve çıktı değişkenlerinin doğru seçilmesi ki bu sayede üretim süreci de doğru olarak tanımlanabilir; KVB sayısının uygun miktarda olması ve en uygun VZA modelinin seçilmesi kriterleri şeklinde sıralanabilir.

Girdi çıktıların belirlenmesindeki temel yol, girdi ve çıktı değişkenlerinin ilgilenilen konuda ne anlam ifade ettiğinin bilinmesi ile mümkündür.

Genel olarak girdiler için KVB'lerin sonuç performanslarını etkileyecek koşullar ya da belli bir sonuç elde etmede kullanılan kaynaklar şeklinde bir tanımlama yapılabilir. Çıktılar için ise kullanılan kaynaklar sayesinde yapılan işlemler sonucunda edinilen kazançlar denilebilir.

Girdi-çıktı seçiminde belirli bir yöntem olmamasıyla birlikte bu aşama VZA'nın ayırmacı gücünü belirlediğinden dolayı doğru girdi ve çıktıların seçilmesi önemlidir. Çeşitli girdi ve çıktı senaryoları uygulanarak en doğru sonucu veren anlamdaki değişkenler belirlenebilir. Buradaki bağlayıcı sayılabilecek bir seçim kriteri, girdi ve çıktılar arasında çoklu bağlantı sorununun olmaması gerektirir. Böyle bir soruna sahip girdi ve/veya çıktı değişkenlerinin ya analizden çıkarılması ya da değiştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, bir

VZA çalışmasında kullanılacak girdi ve çıktıların sayısı olabildiğince küçük fakat çalışmada incelenen KVB'lerin gerçekleştirdiği üretimi de doğru bir şekilde yansıtabilmelidir.

Bir diğer kriter ise uygun KVB'lerin seçimidir. Uygun KVB'lerin belirlenmesi, çalışmanın amacıyla bağlantılıdır. Çünkü analize giren KVB'ler sonucunda elde edilen çözümlerin etkinlik karşılaştırması yapılacaktır. Dolayısıyla bu birimlerin birbirleriyle karşılaştırılabilir, benzer amaçlara sahip yani, homojen birimler olmaları gerekir [15, 20].

Literatürde uygun KVB sayısını belirlemek için çeşitli öneriler mevcuttur. Örneğin, Vassiloglou ve Giokas [21] yaptıkları çalışmalarında VZA ile etkinliklerin doğru olarak ölçülebilmesi için gerekli karar birimi sayısının girdi ve çıktı toplamının en az üç katı olması gerektiğini, Bowlin [22] çalışmasında her bir girdi ya da çıktı başına en az üç karar biriminin seçilmesi gerektiğini, Boussofiene, Dyson ve Thanassoulis [23]'deki çalışmasında I girdi ve J çıktı bir araştırmanın karar birimi sayısının en az $I + J + 1$ olması gerektiğini savunmuştur. Bu çalışmada karar birimi sayısı $4 * (I + J)$ olarak belirlenmiştir [17].

VZA'nın sonuncu adımını, hangi modelin türünün kullanılacağını belirlemek oluşturur. Bu karar, modelin yöneliminin dikkate alınmasıyla verilir. Amacın ne olduğuna iyi karar verilmelidir. Araştırmacı belli bir girdi ile maksimum çıktı üretmek isteyebileceği gibi belirli bir çıktıyı en az girdi ile üretmeyi de hedefleyebilir. Bu amaç doğrultusunda model seçimi yapılmalıdır. Daha sonra, karar biriminin üretim ölçeğine göre hangi modelin kullanılacağına karar verilir. CCR modelinde, ölçeğe göre sabit getiri söz konusudur.

2.3.2. Veri zarflama analizinde süper etkinlik (AP) yaklaşımı

Veri Zarflama Analizi yöntemlerinin özelliklerinden biri de etkin birimlerin 1 değerini, etkin olmayan birimlerin ise girdi yönelimli modellerde 1'den küçük; çıktı yönelimli modellerde 1'den büyük değerler almasıdır. Bu anlamda karar verme birimleri üzerinde yapılacak bir sıralamada, bu durum araştırmacı için bir zorluk oluşturmakta ve etkin karar birimlerinin tamamını birinci sırada gibi düşünmektedir. Bu zorluğun ortadan kalkması için literatürde bazı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden biri de Andersen ve Petersen yöntemi (AP) olarak bilinen, süper etkinlik yöntemidir.

Süper etkinlik yöntemi, etkin karar verme birimlerinin diğer tüm birimlerle birlikte karşılaştırılması ve sıralanması üzerine kurulmuş olan ilk sıralama yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yaklaşım, parametrik yöntemlere dayanan sıralamalarda karşılaştırmayı kolaylaştırır ve etkin birimleri sıralamak için bir temel oluşturur [24].

Süper etkinlik modeli Eşitlik (12)'deki gibi formüle edilir:

$$a_p^* = \text{Min } a_p$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} \sum_{j=1; j \neq p} \lambda_j X_j &\leq a_p X_p \\ \sum_{j=1; j \neq p} \lambda_j Y_j &\geq Y_p \\ \lambda_j &\geq 0 ; j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

(12)

Burada;

X_j : m boyutlu girdi vektörünü

Y_j : s boyutlu çıktı vektörünü

λ_j : KVB ağırlıklarını

p: incelenen KVB'yi

a_p^* : p.nci KVB için amaç fonksiyonunun optimal değerini göstermektedir.

AP (süper etkinlik) modeli, genellikle CCR ve BCC modelleriyle benzerlik taşımaktadır. Modelin, diğer iki modelden tek farkı, değerlendirme altındaki birimin süper etkinlik modelinde referans kümede yer almasıdır [17].

3. Bulgular

Çalışmanın amacı, Sharpe Performans Oranı'nın amaç fonksiyonu olarak kullanıldığı Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmasıyla elde edilen portföy çeşitlerinin etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile belirlenip, ilgili portföylerin etkinlik sıralamasının yapılmasıdır.

Kullanılan VZA yöntemiyle yeni bir portföy oluşturmak hedeflenmemiştir; sadece PSO yöntemiyle kâr sağlayan portföylerin, belirlenen girdi ve çıktılarla etkinlikleri ölçülmüş, etkin olmayan portföylerin nasıl etkin hâle getirilebileceğiyle ilgili öneriler sunulmuştur. Her yatırımcının kendisine getiri sağlayan bir portföy istediği düşünüldüğünde, portföy etkinliğinin ölçülmesinde VZA uygun bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde portföy üzerinde VZA ölçümüne ait bazı çalışmalar bulunsa da bir yapay zekâ yöntemi olan PSO ile sıfırdan üretilmiş portföy çeşitleri üzerinde VZA uygulamasına ait bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada BİST-30 endeksine ait hisse senetlerinin bir yıllık gün sonu kapanış fiyatlarından oluşturulan veri seti PSO algoritması ile çözümlenmiştir. Çözümleme sonucunda farklı portföy çeşitlerine ait her bir portföyün beklenen getirisi, portföyün riski içerdiği hisse senet sayıları ve hisse senetlerinin portföy içi ağırlık oranları elde edilmiştir. PSO algoritması ile elde edilen portföylerin VZA-AP yöntemi ile etkinlik sıralaması yapılmıştır.

Bir portföyün etkin olduğuna karar verirken, yılsonunda gerçekleşen getirisi ile PSO'dan hesaplanan beklenen getirisine bakılarak karar verilir. Gerçekleşen getirinin beklenen getiriye eşit ya da ondan büyük olması ve içinde bulunduğu gruptaki diğer portföylerden az risk ile getiri sağlaması gerekmektedir.

Bu çalışmada kullanılan tüm veriler, BIST-30 endeksine ait hisse senetlerinin 02/01/2017 - 31/12/2017 tarihleri arasında günlük getiri oranlarından veri seti oluşturulmuştur. Kullanılan hisse senetleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Analize dâhil edilen BİST-30 endeksi hisse senetleri

HİSSE SENEDİ KODU					
AKBNK	ECILC	HALKB	KRDMD	SISE	TOASO
ARCLK	EKGYO	ISCTR	OTKAR	TAVHL	TTKOM
ASELS	ENKAI	KCHOL	PETKM	TCELL	TUPRS
BIMAS	EREGL	KOZAA	PGSUS	THYAO	VAKBN
DOHOL	GARAN	KOZAL	SAHOL	TKFEN	YKBNK

3.1. Portföylerin PSO yöntemiyle belirlenmesi

Parçacık Sürü Optimizasyonu ile portföy optimizasyonu için PSO algoritması adımları aşağıdaki gibidir [3]:

Adım 1: Parçacıklara ait rastgele pozisyon ve hız değerleri üret. Parçacıklar portföyü temsil etmektedir. Ayrıca her bir parçacığın pozisyon değerleri portföyün içerdiği hisse senetlerinin ağırlık

oranları olarak belirlenmiştir. Pozisyon değerleri $[0,1]$ aralığında rastgele sayılardan üretilir.

Adım 2: Her bir parçacığın (portföyün) uygunluk fonksiyon (Sharpe performans oranı) değerini hesapla.

Adım 3: p_{best} ve g_{best} değerlerini hesapla.

Adım 4: Pozisyon ve hız değerlerini güncelle (yeni parçacık değerleri üret) ve parçacıkların uygunluk fonksiyon değerlerini hesapla.

Adım 5: p_{best} ve g_{best} değerlerini güncelle.

Adım 6: Durdurma koşulu sağlanıyorsa programı durdur. Aksi halde Adım 2'den çözümleme işlemine devam et. (Burada, durdurma kriteri olarak iterasyon sayısı kullanılmıştır.)

PSO'da, algoritmanın bilinmeyen parametreleri sırasıyla şunlardır: Parçacık sayısı, eylemsizlik katsayısı (w), bilişsel ve sosyal katsayılar (c_1 ve c_2).

Bu çalışmadaki optimizasyon probleminin çözümünde, literatürdeki en yaygın kullanılan parametre değerleri tercih edilmiştir. Farklı değerler için PSO set grupları oluşturulmuş ve bunlarla program çalıştırılmıştır.

Her veri seti için optimum portföyün belirlenmesinde Sharpe Performans Oranı dikkate alınmıştır. 30 farklı setin oluşturulmasında, farklı parçacık sayısı, w , c_1

Tablo 2. Parçacık Sürü Optimizasyonu ile portföy optimizasyonu için oluşturulan set gruplarına ait parametre değerleri

P.S.	$c_1 = c_2 = 1,484$; w (Eylemsizlik Ağırlığı)					
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
20	1. Set	2. Set	3. Set	4. Set	5. Set	6. Set
30	7. Set	8. Set	9. Set	10. Set	11. Set	12. Set
40	13. Set	14. Set	15. Set	16. Set	17. Set	18. Set
50	19. Set	20. Set	21. Set	22. Set	23. Set	24. Set
60	25. Set	26. Set	27. Set	28. Set	29. Set	30. Set

Tablo 3. PSO algoritmasında kullanılan parametre değerleri ve analiz sonucu elde edilen portföy bilgileri

Set	PS	W	Sp	Rp	sp	Menkul kıymet sayısı
1.	20	0,4	0,2678	0,2644	0,9872	23
2.	20	0,5	0,2834	0,3076	1,0852	23
3.	20	0,6	0,3350	0,3228	0,9636	12
4.	20	0,7	0,3352	0,3219	0,9602	11
7.	30	0,4	0,2826	0,3107	1,0995	23
8.	30	0,5	0,3050	0,3485	1,1427	18
11.	30	0,8	0,3352	0,3213	0,9585	10
12.	30	0,9	0,3351	0,3216	0,9597	9
13.	40	0,4	0,2794	0,3124	1,1183	22
14.	40	0,5	0,3224	0,3105	0,9626	16
16.	40	0,7	0,3351	0,3223	0,9616	10
19.	50	0,4	0,3147	0,3147	0,9998	19
20.	50	0,5	0,3204	0,3532	1,1024	11
25.	60	0,4	0,2987	0,2930	0,9809	19
26.	60	0,5	0,3352	0,3216	0,9592	12
30.	60	0,9	0,3332	0,318	0,9546	10

ve c_2 değerleri göz önüne alınmıştır.

Her setin programda, 1000 iterasyonla çalıştırılmasıyla çözümlenmiş ve bunun sonucunda optimum portföye ulaşılmıştır. Elde edilen farklı veri setlerine ait parçacık sayısı, w , c_1 ve c_2 değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

30 farklı set grubunun çözümlenmesi sonucunda ulaşılan portföy çeşitlerinden 16 tanesi farklı bilgiler içermektedir. VZA için 16 portföye ait Parçacık sayısı, eylemsizlik ağırlığı ayrıca elde edilen portföye ait

Sharpe Oranı, portföyün beklenen getirisi ve portföyün riski Tablo 3'te verilmiştir.

3.2. Portföylerin etkinliklerinin veri zarflama analizi ile belirlenmesi

Çalışmada 3 tane girdi ve 1 tane çıktı değişkeni Veri Zarflama Analizine girmiş ve önce girdiye yönelik CCR modeli ile çözüm elde edilmiş, sonra da AP yöntemi ile etkinlik sıralaması yapılmıştır. CCR modeli için kullan girdi ve çıktı değişkenleri aşağıda verilmiştir.

Girdi değişkenleri:

I1: $E_1(R_p)$

"Portföyün $t = 0$ 'da beklenen getirisi"

I2: portföyün standart sapması

"Mikro risk, portföyün kendisinden (varlık tahsisinden) kaynaklanan risk"

I3: Portföydeki hisse senedi sayısı

Çıktı değişkeni:

O1: $G_1(R_p)$

"Portföyün $t = 1$ 'de gerçekleşen getirisi"

Bu çalışmada, yapılan portföy analizi sonucunda toplam 16 portföy elde edilmiş ve bu portföylerin etkinlikleri, girdiye yönelik CCR modeli ve AP yöntemi için DEA Solver LV(V8) programı ile ölçülmüştür.

Bunun için öncelikle, belirlenen girdi ve çıktı değişkenleri üzerinde herhangi bir değişikliğe gidilip gidilmemesini belirlemek amacıyla bu değişkenlere ilişkin korelasyon incelenmesi yapılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda, değişkenler arasındaki ilişkiye ait değerler Tablo 4'te verilmiştir.

Çizelgedeki korelasyon değerleri incelendiğinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkinin bulunmadığı görülmüş ve kullanılan girdi ve çıktılarda herhangi bir değişikliğe gidilmemiştir.

Girdi ve çıktı değişikliğine gidilmeden değişkenler belirlendikten sonra, Eşitlik 11'deki formül kullanılarak girdiye yönelik CCR modeli ile etkinlik skorları hesaplanmış ve Tablo 5'te verilmiştir.

Ekonomi teorisinde ölçeğe göre sabit getiri varsayımı, dolayısıyla da CCR modelleri kullanışlı olmasa da portföylerin yatırımcıya getiri sağlayan birer üretim birimi olarak kabul edildiğinde, bu modelin kullanılması imkânı ortaya çıkabilmektedir. Tablo 5'e göre; 1, 8, 10 ve 16 Portföylerin etkin; diğerlerinin ise

Tablo 4. Girdi ve çıktı değişkenlerine ait korelasyon değerleri

	Beklenen Getiri	Risk	Hisse Senedi	Gerçekleşen Getiri
Beklenen Getiri	1	0,310	-0,5514	-0,3636
Risk	0,31052	1	0,5546	-0,2765
Hisse Senedi	-0,5514	0,555	1	0,06677
Gerçekleşen Getiri	-0,364	-0,276	0,0668	1

Tablo 5. PSO ile belirlenen portföylerin girdiye yönelik CCR etkinlik skorları

KVB	Etkinlik Skoru	Etkinlik durumu	Sıralama	Referans Seti	Lamda Yoğunluğu
1	1	Etkin	1	1	1
2	0,8792	Etkin değil	11	1	0,698
3	0,9397	Etkin değil	8	10	0,303
4	0,9439	Etkin değil	6	10	0,15
5	0,9113	Etkin değil	10	1	0,765
6	0,726	Etkin değil	16	1	0,348
7	0,9582	Etkin değil	5	8	0,037
8	1	Etkin	1	8	1
9	0,8514	Etkin değil	12	1	0,706
10	1	Etkin	1	10	1
11	0,9337	Etkin değil	9	8	0,065
12	0,8319	Etkin değil	13	1	0,12
13	0,8023	Etkin değil	14	8	0,798
14	0,7981	Etkin değil	15	1	0,351
15	0,943	Etkin değil	7	10	0,311
16	1	Etkin	1	16	1

Tablo 6. Analiz sonuçlarını tanımlayıcı istatistikler

Model	İstatistikler	
Portföyler CCR(1)	Etkin Portföy Sayısı	4
	Etkinlik Ortalaması	0,9074
	Etkin Olmayan Portföy Sayısı	12
	Etkin Olmayan Portföylerin Etkinlik Ortalaması	0,87656
	Etkin Olmayan Portföylerde Minimum Etkinlik	0,726
	Etkin Olmayan Portföylerde Maksimum Etkinlik	0,9582

Tablo 7. Etkinlik skor değerlerinin AP yöntemi ile sıralanması

KVB	AP Skoru	Sıralama	KVB	AP Skoru	Sıralama
1	1,132069	1	9	0,85141	12
2	0,879167	11	10	1,024571	4
3	0,939653	8	11	0,93375	9
4	0,943911	6	12	0,83187	13
5	0,911327	10	13	0,802251	14
6	0,725972	16	14	0,79807	15
7	0,95824	5	15	0,942983	7
8	1,050242	3	16	1,050803	2

etkin olmadıkları görülmektedir. Ayrıca çizelgede, etkin olmayan KVB'ler için referans KVB'leri ve lamda yoğunlukları da gözlenmektedir. Buna göre; 2, 5, 6, 9, 12 ve 14 KVB'ler için referans 1 KVB, 7, 11 ve 13 KVB'ler için referans 8 KVB ve 3, 4 ve 15 KVB'ler için referans 10 KVB'dir.

Ekonomi teorisinde ölçüğe göre sabit getiri varsayımı, dolayısıyla da CCR modelleri kullanışlı olmasa da portföylerin yatırımcıya getiri sağlayan birer üretim birimi olarak kabul edildiğinde, bu modelin kullanılması imkânı ortaya çıkabilmektedir. Tablo 5'e göre; 1, 8, 10 ve 16. Portföylerin etkin; diğerlerinin ise etkin olmadıkları görülmektedir. Ayrıca çizelgede, etkin olmayan KVB'ler için referans KVB'leri ve lamda yoğunlukları da gözlenmektedir. Buna göre; 2, 5, 6, 9, 12 ve 14. KVB'ler için referans 1. KVB, 7, 11 ve 13 KVB'ler için referans 8 KVB ve 3, 4 ve 15. KVB'ler için referans 10 KVB'dir

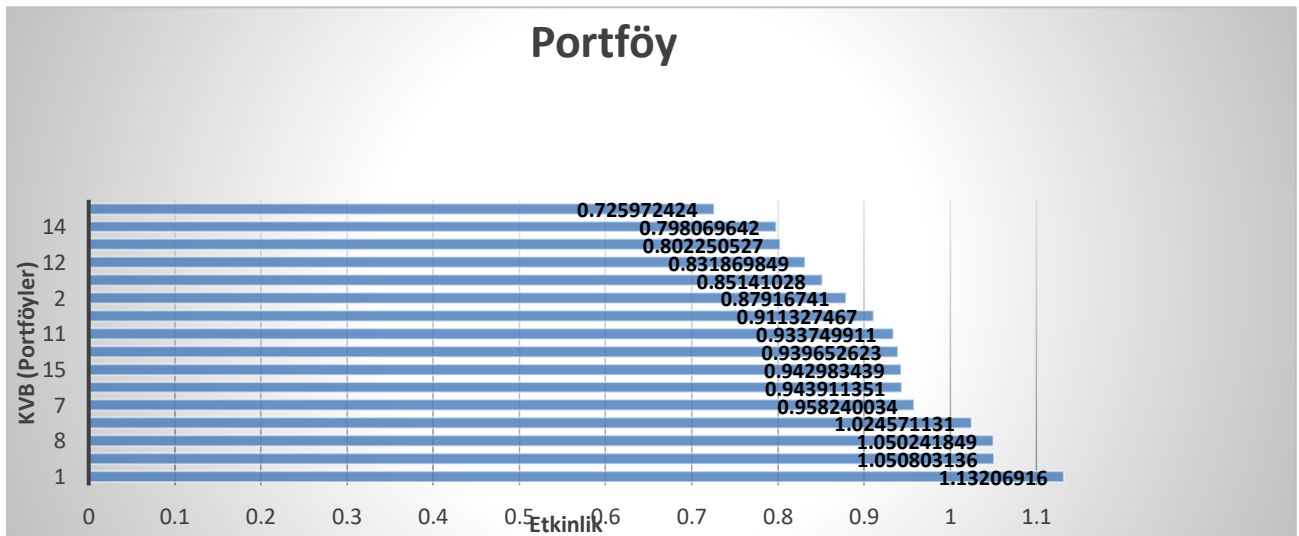
Analiz sonuçlarını tamamlayıcı istatistiklerin yer aldığı Tablo 6. incelendiğinde; BİST 30 endeksinde

yer alan hisse senetlerinin portföy incelemesinde elde edilen portföyler için girdiye yönelik CCR modeline göre etkin birim sayısı 4, etkinlik ortalaması 0,9074 olup, girdileri %9,26 düzeyinde azaltmak gerekmektedir. Tablo 7'de süper etkinlik (AP) yöntemi ile bulunan etkinlik skor değerleri ve bu skor değerlere göre portföylerin sıralamaları verilmiştir.

AP yöntemine göre portföylerin etkinlik skorları ve etkinlik sıralamalarının görüldüğü Tablo 7'ye göre; en yüksek etkinlik skoruna sahip portföy, 1 Portföyken; en düşük etkinliğe sahip portföy ise 6 Portföydür.

Şekil 1'de, karar verme birimlerinin AP yöntemine göre etkinlik değerlerinin grafiği görülmektedir. Bu grafikte etkinlik değerleri artan sıralama ile verilmektedir.

Buna göre portföylerin etkinlik sıralaması küçükten büyüğe; 6, 14, 13, 12, 9, 2, 5, 11, 3, 15, 4, 7, 10, 8, 16, 1

**Şekil 1.** PSO ile belirlenen portföylerin AP yöntemine göre etkinlik skorları için grafik

Tablo 8. Portföylerin etkinlik iyileştirmeleri

KVB	Skor	Beklenen Getiri		Risk		Hisse Sayısı	
		Proj.	Değişim (%)	Proj.	Değişim (%)	Proj.	Değişim (%)
1	1,132	0,299	13,21	0,928	-6,00	15,424	-32,94
2	0,879	0,270	-12,08	0,954	-12,08	20,221	-12,08
3	0,940	0,298	-7,51	0,905	-6,03	11,276	-6,03
4	0,944	0,300	-6,68	0,906	-5,61	10,383	-5,61
5	0,911	0,283	-8,87	1,002	-8,87	20,960	-8,87
6	0,726	0,253	-27,40	0,827	-27,64	13,067	-27,40
7	0,958	0,306	-4,75	0,918	-4,18	9,582	-4,18
8	1,050	0,301	-6,54	0,902	-5,98	9,452	5,02
9	0,851	0,266	-14,86	0,935	-16,39	18,731	-14,86
10	1,025	0,318	2,46	0,986	2,46	12,377	-22,64
11	0,934	0,299	-7,16	0,898	-6,63	9,337	-6,63
12	0,832	0,262	-16,81	0,832	-16,81	14,616	-23,08
13	0,802	0,283	-19,77	0,846	-23,25	8,022	-19,77
14	0,798	0,234	-20,19	0,783	-20,19	15,163	-20,19
15	0,943	0,298	-7,29	0,904	-5,70	11,316	-5,70
16	1,051	0,334	5,08	0,997	4,49	10,508	5,08

portföyler şeklindedir. 1, 8, 10 ve 16 portföyler etkin portföylerdir ve kendi aralarında da sıralanabilmektedirler.

Etkin olmayan portföylerin iyileştirmeleri ise Tablo 8'de verilmiştir. Tablo 8 ile her bir portföyün girdisinin (girdi odaklı model olduğu için çıktılarının hedef değerleri ile gerçekleşen değerleri aynıdır) gerçekleşen değerleri ile hedef değerlerini ve bunlar arasındaki farklar görülmektedir. Buna göre; 2. Portföyün girdilerinden beklenen getiri, 0,3076 yerine 0,270432 olsaydı %12,08'lik bir iyileşme sağlanabilirdi. Benzer şey hisse senedi sayısı için de geçerlidir; 23 yerine 20 tane hisse senedi portföye dâhil olsaydı ve yine risk girdisi de 1,0852 yerine 0,95407 olsaydı aynı oranda iyileşme sağlanırdı. 6. Portföyün girdilerinden beklenen getiri, 0,3485 yerine 0,253 olsaydı %27,40'lık bir iyileşme sağlanabilirdi. Benzer şey hisse senedi sayısı için de geçerlidir; 18 yerine 13 tane hisse senedi portföye dâhil olsaydı aynı oranda iyileşme sağlanırdı. Risk girdisi ise 1,1427 yerine 0,8268 olsaydı, %27,64'lük bir iyileşme sağlanabilirdi. 9. Portföyün girdilerinden beklenen getiri, 0,3124 yerine 0,26598 olsaydı %14,86'lık bir iyileşme sağlanabilirdi. Benzer şey hisse senedi sayısı için de geçerlidir; 22 yerine 19 tane hisse senedi portföye dâhil olsaydı aynı oranda iyileşme sağlanırdı. Risk girdisi ise 1,1183 yerine 0,93504 olsaydı, %16,39'luk bir iyileşme sağlanabilirdi. 12. Portföyün girdilerinden beklenen getiri, 0,3147 yerine 0,26179 olsaydı %16,81'lik bir iyileşme sağlanabilirdi. Benzer şey risk için de geçerlidir; 0,9998 yerine 0,8317 olsaydı aynı oranda iyileşme sağlanırdı. Hisse senesi sayısı girdisi ise 19 yerine 15 olsaydı, %23,08'lik bir iyileşme sağlanabilirdi. 13. Portföyün girdilerinden beklenen getiri, 0,3532 yerine 0,2834 olsaydı %19,77'lik bir iyileşme sağlanabilirdi. Benzer şey hisse senedi sayısı için de geçerlidir; 10 yerine 8 tane hisse senedi portföye dâhil olsaydı aynı oranda iyileşme

sağlanırdı. Risk girdisi ise 1,1024 yerine 0,84605 olsaydı, %23,25'lik bir iyileşme sağlanabilirdi. 14. Portföyün girdilerinden beklenen getiri, 0,293 yerine 0,234 olsaydı %20,19'luk bir iyileşme sağlanabilirdi. Benzer şey hisse senedi sayısı için de geçerlidir; 19 yerine 15 tane hisse senedi portföye dâhil olsaydı ve yine risk girdisi de 0,9809 yerine 0,783 olsaydı aynı oranda iyileşme sağlanırdı.

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada Türkiye'de en çok tercih edilen yatırım araçlarından hisse senetlerinden oluşturulan portföyün verimliliği araştırılmak istenmiştir. 2017 Ocak - 2017 Aralık dönemi boyunca BİST-30 bünyesinde işlem gören 30 adet hisse senedinin gün sonu kapanış fiyatlarından oluşturulan veri seti, PSO algoritmasında farklı parametre değerleri ile çözümlenerek yatırımcıya sunulacak portföy çeşitleri elde edilmiştir. Her bir portföy performansı Sharpe Performans Oranı ile değerlendirilmiştir. PSO algoritması ile portföy optimizasyonu sonucunda 30 farklı portföye ulaşılmıştır.

Ulaşılan portföy çeşitlerinden 16 tanesi farklı bilgiler içermektedir. VZA için 16 portföye ait PSO algoritmasında portföy optimizasyon problemini çözümlenmede kullanılan parametre değerleri, çözümlenme sonucunda ulaşılan portföye ait Sharpe Performans Oranı, portföy riski, portföyün beklenen getirisi, portföyün içerdiği hisse senet sayısı ve her bir hisse senedinin portföy içi ağırlık oranları bilinmektedir. VZA için 16 portföy çeşidinin etkinliği araştırılmıştır. Bunun için birçok deneme sonucunda en uygun girdi ve çıktı değerlerine karar verilmiştir.

VZA'da portföyün beklenen getirisi, portföyün riski (portföyün standart sapması) ve portföyün içerdiği hisse senet sayısı girdi, her bir portföye yatırım yapıldığı takdirde 1 işlem günü sonrası yatırımcıya

sağlayacağı hesaplanan getiri ((t+1) gerçekleşen getiri) değeri ise çıktı olarak alınmıştır. Bu girdi ve çıktı değişkenleri üzerinde önce girdi yönelimli CCR modeli uygulanmış ve sonra etkin portföy çeşitleri arasında da bir sıralama yaparak yatırımcıya daha güçlü bir yatırım önerisi sunabilmek için Andersen ve Petersen yöntemiyle süper etkinlikler hesaplanmıştır. Ayrıca etkin olmayan portföy çeşitlerinin iyileştirilebilmesi için de öneriler sunulmuştur.

Uygulanan yapay zekâ yöntemi ile iyileştirilmiş portföy çeşitleri elde edilmiştir. Bu portföylere uygulanan VZA yöntemiyle en iyi portföy sıralaması yapılabilmüş ve bu sayede her zaman kendisine en yüksek faydayı sağlayan portföyü tercih etmesi beklenen yatırımcıya iyi ve güvenilir sonuçlar sunulmuştur.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Aydemir, Z. C. 2002. Bölgesel rekabet edebilirlik kapsamında illerin kaynak kullanım görece verimlilikleri: veri zarflama analizi uygulaması. İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü Proje, Yatırımları Değerlendirme ve Analiz Dairesi Başkanlığı, Uzmanlık Tezi, Ankara.
- [2] Shenoy, C., McCarthy K. 2008. Applied portfolio management: How university of Kansas students generate alpha to beat the street. John Wiley & Sons. USA, 368s.
- [3] Çelenli, A. Z. 2013. Parçacık sürü optimizasyonuna dayalı portföy optimizasyonu. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
- [4] Markowitz, H. 1952. Portfolio selection. The Journal of Finance, 7(1), 77-91.
- [5] Zhu, H., Wang, Y., Wang, K., Chen, Y. 2011. Particle swarm optimization (PSO) for the constrained portfolio optimization problem. Expert Systems with Applications, 38(8), 10161-10169.
- [6] Ceylan, A., Korkmaz T. 1998. Borsa'da uygulamalı portföy yönetimi (3 Baskı). Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa.
- [7] Karaşın, A. G. 1987. Sermaye piyasası analizleri. Sermaye Piyasası Kurulu.
- [8] Sharpe, W. F. 1966. Mutual fund performance. The Journal of Business, 39(1), 119-138.
- [9] Aksoy, E. E. 2014. Uluslararası portföy yönetimi (1. Baskı). Detay Yayıncılık, Ankara.

- [10] Eberhart, R., Kennedy, J. A. 1995. New optimizer using particle swarm theory, in MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, IEEE.
- [11] Karaboğa, D. 2014. Yapay zeka optimizasyon Algoritmaları. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- [12] Çelenli, A. Z., Eğrioğlu E., Çorba B. Ş. 2015. İMKB 30 indeksini oluşturan hisse senetleri için parçacık sürü optimizasyonu yöntemlerine dayalı portföy optimizasyonu. Doğuş Üniversitesi Dergisi, 16(1), 25-33.
- [13] Aslankaraoğlu, N. 2006. Veri zarflama analizi ve temel bileşenler analizi ile Avrupa birliği ülkelerinin sıralanması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [14] Kecek, G. 2010. Veri zarflama analizi teori ve uygulama örneği. Siyasal Basım Yayım, Ankara.
- [15] Farrell, M. J. 1957. The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General), 120(3), 253-281.
- [16] Charnes, A., Cooper W. W., Rhodes, E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. European journal of operational research, 2(6), 429-444.
- [17] Öner, B. 2013. Türkiye'de illerin ekonomik performanslarının veri zarflama analizi ve temel bileşenler analizi yöntemleri ile değerlendirilmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
- [18] Yücel, L. İ. 2015. Excel-solver eklentisiyle oluşturulan portföylerin CCR model ile etkinlik ölçümüne yönelik bir uygulama. Ekonometri ve İstatistik Dergisi, 23, 112-146.
- [19] Donnelly, M. 2000. A radical scoring system for the european foundation for quality management business excellence model. Managerial Auditing Journal, 15, 8-11.
- [20] Oruç, K. O., Güngör İ., Demiral M. F. 2009. Üniversitelerin etkinlik ölçümünde bulanık veri zarflama analizi uygulaması. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 22, 279-294.
- [21] Vassiloglou, M., Giokas D. 1990. A study of the relative efficiency of bank branches: an application of data envelopment analysis. Journal of the Operational Research Society, 41(7), 591-597.
- [22] Bowlin, W. F. 1999. An analysis of the financial performance of defense business segments using data envelopment analysis. Journal of Accounting and Public Policy, 18(4-5), 287-310.

- [23] Boussofiane, A., Dyson R. G., Thanassoulis E. 1991. Applied data envelopment analysis. European journal of operational research, 52(1), 1-15.
- [24] Andersen, P. ve Petersen N.C. 1993. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. Management Science, 39(10), 1261-1264.

Determination of Hydrogen Peroxide Content and Antioxidant Enzyme Activities in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Seeds After Accelerated Aging Test

Sercan ÖNDER¹, Damla GÜVERCİN ÖNDER², Muhammet TONGUÇ³

^{1,3}Isparta University of Applied Science, Faculty of Agricultural, Department of Agricultural Biotechnology, 32200, Isparta, Turkey

²Suleyman Demirel University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, 32260, Isparta, Turkey

(Alınış / Received: 11.09.2020, Kabul / Accepted: 30.10.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Keywords

Catalase,
Peroxidase,
Seed aging,
Superoxide dismutase

Abstract: Safflower is an important oleiferous crop species in the world. Aging tests are used to simulate cell damage occurring during the long term storage of seeds. In the present study, accelerated aging (AA) test was employed to investigate response of antioxidant enzymes in safflower. Four genotypes of safflower, previously classified as aging resistant (Bayer-6 and Bayer-12) and sensitive (Olas and Linas) based on AA test, were used as seed materials and AA treatments at 43 °C consisted of 5 different times (0, 48, 72, 96 and 120 h). Variance analysis were used and means were separated according to significance levels, and correlations were calculated between hydrogen peroxide (H₂O₂) content, superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) activities. The H₂O₂ content, CAT, SOD and peroxidase (POD) activities were measured in control and AA treated seeds. Genotype, time and genotype x time interactions were all significant. While H₂O₂ content and SOD activity increased with AA time, CAT activity decreased in all genotypes throughout the experiment. POD did not show regular increase or decrease, its activity was specific to genotypes and time. Correlations between CAT activity and H₂O₂ content were significant negative for all genotypes, but between SOD activity and H₂O₂ content was positively correlated in AA treated seeds.

Hızlandırılmış Yaşlandırma Testi Sonrasında Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Tohumlarında Hidrojen Peroksit İçeriği ve Antioksidant Enzim Aktivitelerinin Belirlenmesi

Anahtar Kelimeler

Katalaz,
Peroksidaz,
Tohum yaşlanması,
Süperoksit dismutaz

Özet: Aspir dünyada önemli bir yağlı tohum bitkisidir. Yaşlandırma testleri, tohumların uzun süreli depolanması sırasında meydana gelen hücresel hasarın oluşturulmasını sağlayan testlerdir. Mevcut çalışmada hızlandırılmış yaşlandırma testi (AA) aspir tohumlarında antioksidant enzim aktivitelerinin incelenmesi için uygulanmıştır. Daha önceki çalışmada yaşlanmaya dirençli (Bayer-6 ve Bayer-12) yaşlanmaya hassas (Olas ve Linas) dört aspir genotipi tohum materyali olarak kullanılmıştır. AA, 43 °C 5 farklı zamanda (0, 48, 72, 96 ve 120 saat) gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki önemlilik seviyeleri tespit edilmiştir. Ayrıca hidrojen peroksit (H₂O₂) içeriği ve katalaz (CAT) ve süperoksit dismutaz (SOD) aktiviteleri arasındaki korelasyon incelenmiştir. H₂O₂ içeriği, CAT, SOD ve peroksidaz (POD) aktiviteleri kontrol ve AA uygulanmış tohumlarda belirlenmiştir. Genotip, zaman ve genotip x zaman interaksyonları önemli bulunmuştur. H₂O₂ içeriği ve SOD aktivitesi AA zamanına bağlı olarak artarken, CAT aktivitesi ise kullanılan tüm genotiplerde ise azalmıştır. POD aktivitesi düzenli bir şekilde artış veya azalış göstermemiş, aktivitedeki değişim genotip ve zamana göre farklılık göstermiştir. H₂O₂ içeriği ve CAT aktivitesi arasındaki korelasyon tüm genotiplerde önemli ve negatif olarak bulunurken; H₂O₂ içeriği ve SOD aktivitesi arasında AA uygulanmış tohumlarda pozitif korelasyon bulunmuştur.

1. Introduction

Safflower is an important oleiferous crop species in the world belonging to the Asteraceae family. Turkey ranked 8th in terms of the cultivated area (24.693 ha) and 5th in production (35.000 t) in 2018 [1]. As the arable land decreases as a result of the continuously growing world population, the only alternative to achieve high quality seeds is to increase agricultural productivity [2, 3]. Safflower is an alternative crop plant due to its tolerance to drought and salinity. Therefore, it is suitable to grow in arid and semi-arid areas where other oilseed crops cannot be grown economically [4, 5]. During the harvest and seed storage, seeds are exposed to different conditions leading to seed deterioration and reduced viability [6]. Storage of oilseeds is difficult than the other seeds because oilseeds are very susceptible to seed degradation [7]. In addition, safflower seed is categorized as weak storer since its viability and oil quality reduces after 1-1.5 years of storage under normal storage terms [8]. The two most important factors affecting seed quality and deterioration during aging are relative humidity and temperature [9]. A decrease of 1% in seed relative humidity or 5 °C in storage temperature increases seed life twice [10]. Seed aging thought to be caused by lipid peroxidation, changes in antioxidant enzyme activity, degradation in lipid and carbohydrates, changes in protein and enzyme structures, changes in energy metabolism and occurrence of reactive oxygen species (ROS) [11]. Plants possess antioxidant systems to protect against ROS. Seed aging could cause deterioration of antioxidant enzymes due to structural changes in macromolecular level [12-14]. The enzymatic antioxidant system has different enzymes scavenging ROS and maintaining physiological balance between ROS production and antioxidative defenses [7]. Superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) are principal antioxidant enzymes in plants to eliminate ROS [13]. The production of ROS is one of the physiological results causing seed degradation [15, 16]. These free radicals may adversely affect the function of macromolecules and enzymatic activity by inducing enzymatic lipid peroxidation [13, 17, 18].

Although safflower is important for both the dyeing industry and oilseed crop; few studies have conducted to investigate the aging and vigor of seeds. Hence, examination of seed deterioration during the storage is important for seed storage and sustainable production. Accelerated aging (AA) is a commonly used test to evaluate seed vigor after exposing seeds to high humidity and high temperature [19]. There is a need to investigate the role of antioxidant enzymes in seed aging with AA testing and to examine the changes in the activity of antioxidant enzymes at different aging times. Oxidative lipid peroxidation was not the main reason of seed degradation during AA in safflower seeds [20]. Therefore, present study was carried out to investigate hydrogen peroxide

(H₂O₂) accumulation and antioxidant enzyme activities (CAT, SOD and POD) between aging resistant and sensitive genotypes of safflower during the AA.

2. Material and Method

2.1. Seed material and accelerated aging test

The safflower genotypes (Bayer-6, Bayer-12, Linas and Olas) were used as seed materials. Adjustment of seed moisture content before and after surface sterilization, performing of AA tests, germination conditions were given in a previously published study [20]. Seeds of control treatment (0 h) were not exposed to aging conditions. These genotypes were differentiated based on their reaction to AA in a previous study and classify as aging resistant and sensitive [20]. Seeds were stored at 4 °C until the analyses.

2.2. Estimation of hydrogen peroxide (H₂O₂)

Hydrogen peroxide (H₂O₂) extraction and measure from seeds of safflower were performed according to Velikove et al. [21]. Seeds were frozen with liquid nitrogen and grounded with 5 ml 0.1% (w/v) trichloroacetic acid. The mixture was centrifuged at 15.000 x g for 15 min at 4 °C. Supernatant (0.5 ml) was aliquoted and 1 ml 1 M KI and 0.5 ml 10 mM K₂HPO₄ buffer (pH 7.0) was added. Reaction mixture was subjected to dark conditions for 60 min. The absorbance values of the samples were read at 390 nm. H₂O₂ amount was calculated with a standard curve.

2.3. Antioxidant enzyme activity determination

For the determination of enzyme activities, 10 g seeds were grounded in 25 ml ice-cold extraction buffer and 0.5 g PVPP. For CAT analysis, 50 mM sodium phosphate (pH 7.0), for SOD and peroxidase (POD) analyses 100 mM sodium phosphate buffer (pH 6.4) was used as extraction buffer. Homogenates were centrifuged at 27.000 x g for 50 min at 4 °C and supernatants was used to measure enzyme activity [22].

The CAT activity was performed following Beers and Sizer [23] method. The CAT reaction mixture contained 0.5 ml H₂O₂ (40 mM), 2 ml sodium phosphate buffer (50 mM, pH 7.0) and 0.5 ml of the extracted enzyme. The decline of absorbance for H₂O₂ at 240 nm ($\epsilon_{240} = 43.6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) was recorded for 2 min. One unit of enzyme activity was estimated as the μmol of H₂O₂ decomposition per min. Specific activity of CAT was expressed as μmol of H₂O₂ degraded $\text{min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ protein.

SOD activity was performed following Constantine and Stanley [24] method. The SOD reaction mixture (3 ml) contained 13 mM methionine, 10 μM EDTA, 50

mM sodium phosphate buffer (pH 7.8), 2 μ M riboflavin, 75 μ M NBT and 0.1 ml of the enzyme extract. The reaction mixtures were lightened under light (60 μ mol/m²/s) for 10 min and the absorbance was monitored by recording at 560 nm using a spectrophotometer. Blank solutions were held in dark. Enzyme activity was estimated as the quantity of enzyme causing 50% reduction in absorbance. Activity of SOD was expressed as U mg⁻¹ protein.

The POD activity was performed following Jiang et al. [25] method. The POD reaction mixture contained 2 ml buffer substrate (8 mM guaiacol, 100 mM sodium phosphate pH 6.4), 1 ml of 24 mM H₂O₂ and 0.5 ml of enzyme extract. Absorbance values were recorded twice at 30 s intervals at 460 nm. POD activity was expressed as $\Delta A_{460} \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ protein}$.

Protein amount was calculated using Bradford method [26]. Standard curve was prepared with BSA.

2.4. Statistical analysis

Analyses were performed using three replications. Data were analyzed with variance analysis (ANOVA) and differences between the means were separated by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$ using the IBM SPSS Statistics 22.0 package.

3. Results

The H₂O₂ accumulation and antioxidant enzyme activities during the AA of safflower genotypes were investigated in the present study. Two aging resistant (Bayer-6 and Bayer-12) and aging sensitive (Olas and Linas) safflower genotypes were used as plant material. ANOVA results showed that genotypes, aging time and genotype x time interactions were significant (Table 1).

H₂O₂ content was estimated to verify free radicals accumulation and their effects during the AA in safflower seeds due to lipid peroxidation. Increased aging time caused an increase in the H₂O₂ content of all safflower genotypes (Table 1). Even 48 h AA was sufficient to increase H₂O₂ content of all genotypes compared to the control. After 120 h of aging in Bayer-12, Linas and Olas, H₂O₂ content increased by 25, 16 and 20%, respectively. However, Bayer-6 showed the highest H₂O₂ increase (12%) after 96 h of aging. There was a decrease in H₂O₂ content in Bayer-6, after 120 h of AA.

Increased AA time caused significant decrease in activity of the CAT enzyme in all four genotypes of safflower (Table 1). Among the studied genotypes, the highest decrease in CAT activity was exhibited

Table 1. Effect of AA on seed antioxidant enzyme activities and hydrogen peroxide (H₂O₂) content of safflower genotypes.

Genotype	Time (hour)	H ₂ O ₂ (μ mol g ⁻¹)	CAT (U mg ⁻¹ protein)	SOD (U mg ⁻¹ protein)	POD (U mg ⁻¹ protein)
Bayer-6	0	2.01 ^d	81.81 ^a	3.01 ^c	0.49 ^b
	48	2.19 ^b	68.66 ^b	3.17 ^c	0.49 ^b
	72	2.24 ^{ab}	64.86 ^b	3.25 ^c	0.49 ^b
	96	2.26 ^a	53.91 ^c	3.77 ^b	0.51 ^{ab}
	120	2.13 ^c	46.82 ^c	4.25 ^a	0.52 ^a
Bayer-12	0	2.92 ^c	91.70 ^a	2.17 ^c	0.58 ^a
	48	3.03 ^{bc}	80.34 ^b	2.23 ^{bc}	0.53 ^b
	72	3.19 ^b	74.21 ^c	2.46 ^a	0.58 ^a
	96	3.52 ^a	73.47 ^c	2.38 ^{ab}	0.49 ^c
	120	3.64 ^a	69.04 ^c	2.38 ^{ab}	0.48 ^d
Linas	0	2.62 ^d	102.35 ^a	2.30 ^e	0.85 ^b
	48	2.78 ^c	87.47 ^b	2.76 ^d	0.70 ^d
	72	2.88 ^{bc}	82.77 ^{bc}	2.90 ^c	0.44 ^e
	96	3.01 ^{ab}	76.65 ^c	3.25 ^b	0.91 ^a
	120	3.05 ^a	64.87 ^d	3.85 ^a	0.82 ^c
Olas	0	2.62 ^b	102.24 ^a	2.06 ^c	0.83 ^b
	48	2.98 ^a	88.39 ^b	3.11 ^b	0.53 ^c
	72	3.01 ^a	84.01 ^b	3.58 ^a	0.47 ^e
	96	3.08 ^a	75.92 ^c	3.60 ^a	0.86 ^a
	120	3.13 ^a	64.75 ^d	3.69 ^a	0.49 ^d
Genotype (G)		**	**	**	**
Time (T)		**	**	**	**
G x T		**	**	**	**
CV (%)		3.06	4.65	2.34	3.47

*Means followed by the same letters within columns are not significantly different at $p \leq 0.05$.

**Significant at $p \leq 0.01$

under 120 h aging conditions. After 120 h of aging in Bayer-6, Bayer-12, Linas and Olas, CAT activity decreased by 43, 25, 37 and 37%, respectively. The loss of CAT enzyme activity and accumulation of H₂O₂ were associated with loss of seed germination showing that CAT activity is necessary for the viability of the seeds. In this study, there was a significant negative correlation between CAT activity and H₂O₂ content after AA treatment in all genotypes

(Fig. 1). However, the correlation was not as pronounced in aging resistant genotypes (Bayer-6 and Bayer-12) as compared to aging sensitive ones (Linas and Olas) that explains the excess ROS accumulation and loss of germination in these genotypes.

Superoxide dismutase is an enzyme catalyzing dismutation of superoxide radicals and plays

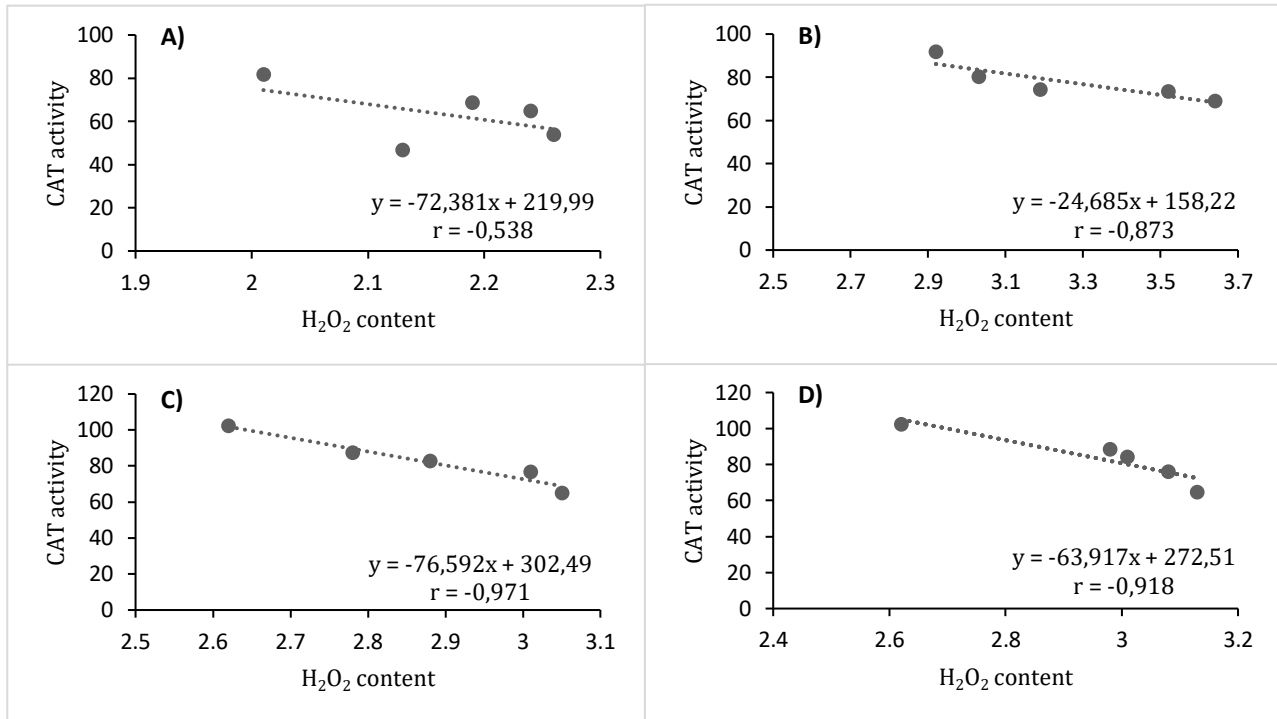


Fig. 1. Correlation analysis between H₂O₂ content and CAT activity in diferent safflower genotypes, A) Bayer-6, B) Bayer-12, C) Linas, D) Olas.

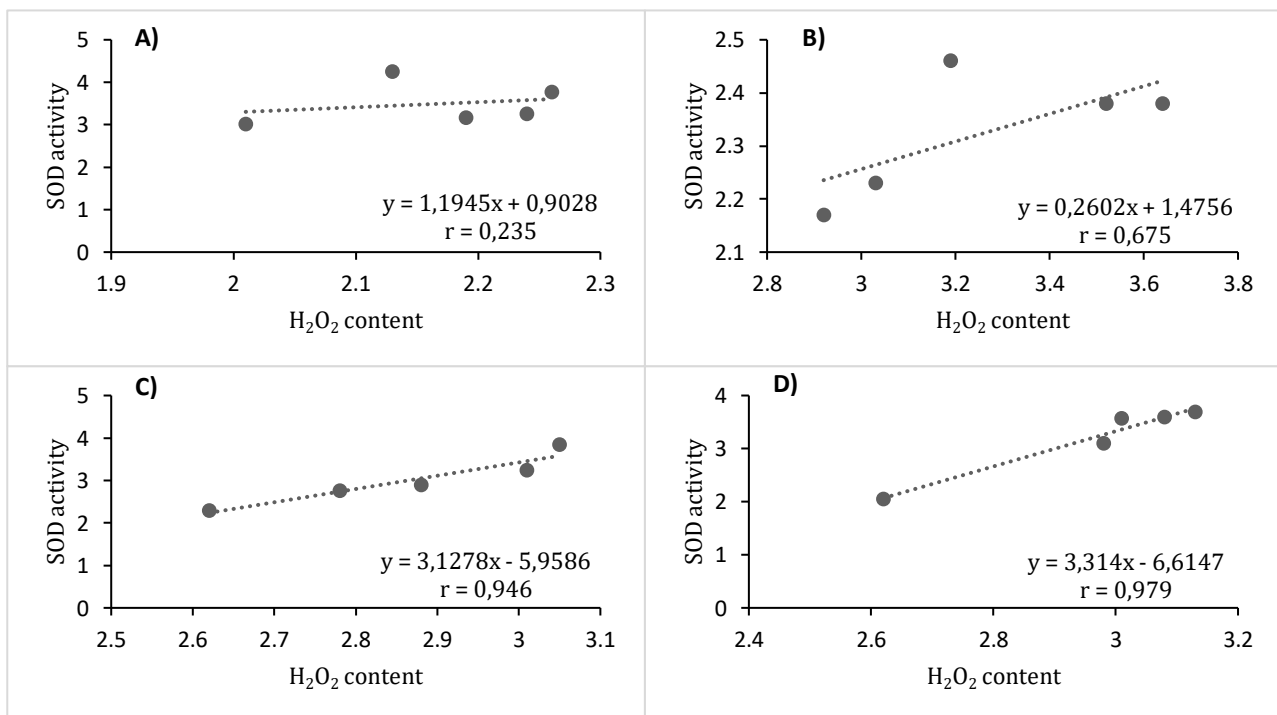


Fig. 2. Correlation analysis between H₂O₂ content and SOD activity in safflower genotypes, A) Bayer-6, B) Bayer-12, C) Linas, D) Olas.

important role in plant defense system. SOD activity increased with aging time in all genotypes, but increase in SOD activity in Bayer-12 was lower than the other genotypes and SOD activity increased till 72h aging and subsequently decreased at 96 h and did not change at 120 h of aging (Table 1). After 120 h of aging in Bayer-6, Linas and Olas, SOD activity increased by 41, 67 and 79%, respectively. However, Bayer-12 showed the highest SOD increase (13%) after 72 h of aging. The increase in SOD activity in aging sensitive (Linas and Olas) genotypes after 120 h of AA at 43 °C was significantly higher than in aging resistant (Bayer-6 and Bayer-12) genotypes. There was a positive correlation between SOD activities and H₂O₂ content after AA in safflower genotypes except for Bayer-6 (Bayer-6, $r=0.235$) (Fig. 2). However, correlation coefficient value is lower in Bayer-12 and there is a weak correlation ($r=0.675$).

POD activity was highly variable among the genotypes and aging times. POD activity in Bayer-6 started to increase at 96 h, whereas POD activity in Bayer-12 fluctuated between aging times and at the end decreased at 120 h. After 120 h of aging in Bayer-12, POD activity decreased by 17% but increased by 6% in Bayer-6. Among aging sensitive genotypes, Linas and Olas, POD activity has fluctuated during the aging times. At both genotypes, POD activity decreased regularly until 72 h of aging compared to control, but at 96 h of aging increased POD activity by 7% and 4% observed; respectively. After 120 h of aging in Linas and Olas, POD activity decreased by 48 and 43%, respectively.

4. Discussion and Conclusion

Seeds contain a complex defense system to protect themselves against damage during the aging and storage process. The enzymatic defense mechanism consists of many enzymatic mechanisms and these antioxidant enzymes catalyze regeneration and formation reactions to scavenge ROS. Seed deterioration and aging increase peroxide and ROS in seeds and cause cell damage due to oxidative stress [27, 28]. Changes in the activity of antioxidant enzymes are crucial biomarkers for observing biochemical changes during seed deterioration [29]. There are important changes in the activities of enzymes such as CAT, SOD and POD during the degradation and aging of seeds [30]. The AA test is a helpful tool for the study of different genotypes since the test simulates cell damage during prolonged storage and helpful to learn about the biochemical changes occurring in the seed [31].

The results of germination parameters such as; percent germination, mean germination time and normal seedling percentage after AA for safflower genotypes were published previously [20]. Results of germination tests indicated that AA test at 43 °C was favorable to assess the effects of aging in safflower

since germination at specified time and temperature distinguished aging resistant and sensitive genotypes.

Seed deterioration is coincided with the accumulation of free radicals production as a result of metabolic events. During seed aging and storage, lipids react with oxygen to form hydrogen peroxides and free radicals. H₂O₂ accumulation during seed aging appears to have a strong negative correlation with seed germinability [7, 32]. The present study confirms the negative correlation between seed germination, increased H₂O₂ content and decreased seed viability after AA at 43 °C. In seed aging studies, ROS-like H₂O₂ plays a very important role in oxidation of all molecules found in cellular structures [7, 33]. Enzymatic lipid peroxidation, H₂O₂ accumulation and the formation of free radicals may be the main cause of seed degradation in oilseed plants such as safflower [20, 34].

Catalase is an enzyme that catalyzes the separation of H₂O₂ to H₂O and O₂ and does not need any reducing agent [35]. The CAT activities after AA observed in this study was similar to results of the previously reported studies for cotton [12], maize [36], onion [8] *Jatropha curcas* [7] and soybean [18] seeds. In okra seeds AA at 40 °C for 96 and 192 h of aging reduced CAT activity compared to control [28]. In onion seeds, there was a relationship between loss of viability and low catalase activity [37].

The significantly increased activity of SOD in safflower genotypes indicates that enzyme was active when the seeds were exposed to stress conditions at temperatures and moisture content. Studies for the effect of natural aging and AA on neem [38] and *J. curcas* [7] showed increased SOD activity to a certain aging period compared to control. Increased SOD activity is an effect on the arising of superoxide radicals, and these radicals are converted to less harmful H₂O₂ [7]. Therefore, high positive correlation in aging resistant genotypes (Linas and Olas) also explains higher seed viability observed in these genotypes. A study on the effect of AA at 45 °C on wheat seeds showed that two and four days of aging increased SOD activity compared to control [39]. Barreto and Garcia [40] reported that macaw palm seeds aged at 4, 8 and 12 days at 100% relative humidity at 45 °C hasn't affected SOD activity in for 4 days aged embryos, but it increased about 50% in embryos aged longer than 4 days.

POD activity increased aging resistant genotype Bayer-6 but decreased in Bayer-12 at 120 h of aging. POD activity fluctuated in aging sensitive genotypes but decrease at 10 h aging in safflower. Our results for POD activity were similar to POD activity determined in aged *J. curcas* seeds [7]. Decreased POD activity was observed during the aging of sunflower [41], radish [42] and onion [8] seeds as well. ROS causes damage to the molecules and can

play an important role in reducing antioxidant activity [43]. CAT, SOD, and POD activities were significantly affected by AA time, genotypes, and the interaction between aging time and genotypes. Changes in these enzyme activities eventually cause decreased protein synthesis, decreased sugar concentration in cells and inactivation of enzymes [44].

This study explores the antioxidant enzyme activity in aging sensitive (Linas and Olas) and aging resistant (Bayer-6 and Bayer-12) genotypes of safflower after AA test. Results showed that H₂O₂ content in aging genotypes is positively correlated with SOD activity and negatively correlated with CAT activity. There was high variability for antioxidant enzymatic activities among the studied genotypes. ROS like molecules accumulated during the AA and had detrimental effects on seeds exposed to AA. However, further studies are needed to better understand the underlying mechanisms of aging at the genotypic and cellular level.

Acknowledgment

We thank Dr. Sabri ERBAŞ for providing seed material used in this study.

References

- [1] FAO,2020.<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Erişim Tarihi: 10.08.2020)
- [2] Verge, X. P. C., De Kimpe, C., Desjardins, R. L. 2007. Agricultural Production, Greenhouse Gas Emissions and Mitigation Potential. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142(2-4), 255-269.
- [3] Federico, G. 2010. Feeding the world: an economic history of agriculture, 1800-2000. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, USA, 387p.
- [4] Weiss, E. A. 2000. Oilseed crops. Blackwell Science. Oxford, 384p.
- [5] Koç, H., Keleş, R., Ülker, R., Gümüştü, G., Ercan, B., Göçmen Akçacık, A., Güneş, A., Özdemir, F., Özer, E., Uludağ, E. 2010. Bazı Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Hatlarının Verim, Verim Ögeleri ve Kalite Özellikleri İle Bu Özellikler Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi. *Bitkisel Araştırma Dergisi*, 2, 1-7.
- [6] Delouche, J. C., Baskin, C. C. 2016. Accelerated Aging Techniques for Predicting the Relative Storability of Seed Lots. *Seed Science and Technology*, 1, 427-452.
- [7] Suresh, A., Shah, N., Kotecha, M., Robin, P. 2019. Evaluation of Biochemical and Physiological Changes in Seeds of *Jatropha curcas* L. Under Natural Aging, Accelerated Aging and Saturated Salt Accelerated Aging. *Scientia Horticulturae*, 255, 21-29.
- [8] Brar, N. S., Kaushik, P., Dudi, B. S. 2019. Assessment of Natural Ageing Related Physio-Biochemical Changes in Onion Seed. *Agriculture*, 9(8), 163.
- [9] Probert, R., Adams, J., Coneybeer, J., Crawford, A., Hay, F. 2007. Seed Quality for Conservation is Critically Affected by Pre-Storage Factors. *Australian Journal of Botany*, 55(3), 326-335.
- [10] Harrington, J. F. 1972. Seed storage and longevity (3rd). Academic Press, New York, 434p.
- [11] Priestley, D. A. 1956. Seed aging. Cornell University Press, Ithaca, 304p.
- [12] Goel, A., Goel, A. K., Sheoran, I. S. 2003. Changes in Oxidative Stress Enzymes During Artificial Ageing in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Seeds. *Journal of Plant Physiology*, 160(9), 1093-1100.
- [13] Bailly, C. 2004. Active Oxygen Species and Antioxidants in Seed Biology. *Seed Science Research*, 14(2), 93-107.
- [14] Lehner, A., Mamadou, N., Poels, P., Come, D., Bailly, C., Corbineau, F. 2008. Changes in Soluble Carbohydrates, Lipid Peroxidation and Antioxidant Enzyme Activities in The Embryo During Ageing in Wheat Grains. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 555-565.
- [15] Parkhey, S., Naithani, S. C., Keshavkant, S. 2012. ROS Production and Lipid Catabolism in Desiccating *Shorea robusta* Seeds During Aging. *Plant Physiology and Biochemistry*, 57, 261-267.
- [16] Sahu, B., Sahu, A. K., Thomas, V., Naithani, S. C. 2017. Reactive Oxygen Species, Lipid Peroxidation, Protein Oxidation and Antioxidative Enzymes in Dehydrating Karanj (*Pongamia pinnata*) Seeds During Storage. *South African Journal of Botany*, 112, 383-390.
- [17] Bosco de Oliveira, A., Gomes-Filho, E., Enéas-Filho, J., Prisco, J. T., Alencar, N. L. M. 2012. Seed Priming Effects on Growth, Lipid Peroxidation, and Activity of ROS Scavenging Enzymes in NaCl-Stressed Sorghum Seedlings from Aged Seeds. *Journal of Plant Interactions*, 7(2), 151-159.
- [18] Nazari, R., Parsa, S., Tavakkol Afshari, R., Mahmoodi, S., Seyyedi, S. M. 2020. Salicylic Acid Priming Before and After Accelerated Aging Process Increases Seedling Vigor in Aged Soybean Seed. *Journal of Crop Improvement*, 34(2), 218-237.
- [19] Wang, F., Wang, R., Jing, W., Zhang, W. 2012. Quantitative Dissection of Lipid Degradation in Rice Seeds During Accelerated Aging. *Plant Growth Regulation*, 66(1), 49-58.

- [20] Önder, S., Tonguç, M., Güvercin, D., Karakurt, Y. 2020. Biochemical Changes Stimulated by Accelerated Aging in Safflower Seeds (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Seed Science*, 42, e202042015.
- [21] Velikova, V., Yordanov, I., Edreva, A. 2000. Oxidative Stress and Some Antioxidant Systems in Acid Rain-Treated Bean Plants: Protective Role of Exogenous Polyamines. *Plant Science*, 151(1), 59-66.
- [22] Wang, Y. S., Tian, S. P., Xu, Y., 2005. Effects of High Oxygen Concentration on Pro- and Anti-Oxidant Enzymes in Peach Fruits During Postharvest Periods. *Food Chemistry*, 91(1), 99-104.
- [23] Beers, R. F., Sizer, I. W. 1952. A Spectrophotometric Method for Measuring The Breakdown of Hydrogen Peroxide by Catalase. *The Journal Biological Chemistry*, 195(1), 133-140.
- [24] Constantine, N. G., Stanley, K. R. 1977. Superoxide Dismutases. *Plant Physiology*, 59(2), 315-318.
- [25] Jiang, A. L., Tian, S. P., Xu, Y. 2002. Effects of Controlled Atmospheres with High-O₂ or High CO₂ Concentrations on Postharvest Physiology and Storability of "Napoleon" Sweet Cherry. *Journal of Integrative Plant Biology*, 44(8), 925-930.
- [26] Bradford, M. M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein Dye Binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- [27] Bewley, J. D., Bradford, K., Hilhorst, H. 2012. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. Springer Science & Business Media, New York, 392p.
- [28] Parmoon, G., Moosavi, S. A., Siadat, S. A. 2019. Performance of Iranian Okra Ecotypes Under Various Accelerated Aging Conditions. *Horticultural Plant Journal*, 5(1), 17-23.
- [29] Silva, P. P., Sekita, M. C., Dias, D. C. F. S., Nascimento, W. M. 2016. Biochemical and Physiological Analysis in Carrot Seeds from Different Orders of Umbels. *Revista Ciência Agronômica*, 47(2), 407-413.
- [30] Chhabra, R., Singh, S. T. 2019. Seed Aging, Storage and Deterioration: An Irresistible Physiological Phenomenon. *Agricultural Reviews*, 40(3), 234-238.
- [31] Wu, X., Ning, F., Hu, X., Wang, W. 2017. Genetic Modification for Improving Seed Vigor is Transitioning from Model Plants to Crop Plants. *Frontiers in Plant Science*, 8(8), 1-7.
- [32] Ratajczak, E., Małecka, A., Bagniewska-Zadworna, A., Kalemba, E. M. 2015. The Production, Localization and Spreading of Reactive Oxygen Species Contributes to The Low Vitality of Long-term Stored Common Beech (*Fagus sylvatica* L.) Seeds. *Journal of Plant Physiology*, 174, 147-156.
- [33] Kibinza, S., Vinel, D., Côme, D., Bailly, C., Corbineau, F. 2006. Sunflower Seed Deterioration as Related to Moisture Content During Ageing, Energy Metabolism and Active Oxygen Species Scavenging. *Physiologia Plantarum*, 128(3), 496-506.
- [34] Mahjabin, S. B., Abidi, A. B. 2015. Physiological and Biochemical Changes During Seed Deterioration: A Review. *International Journal of Recent Scientific Research*, 6(4), 3416-3422.
- [35] Anjum, N. A., Sharma, P., Gill, S. S., Hasanuzzaman, M., Khan, E. A., Kachhap, K., Mohamed, A. A., Thangavel, P., Devi, G. D., Vasudhevan, P., Sofu, A., Khan, N. A., Misra, A. N., Lukatkin, A. S., Singh, H. P., Pereira, E., Tuteja, N. 2016. Catalase and Ascorbate Peroxidase-Representative H₂O₂-Detoxifying Heme Enzymes in Plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(19), 19002-19029.
- [36] Vashisth, A., Nagarajan, S. 2009. Germination Characteristics of Seeds of Maize (*Zea mays* L.) Exposed to Magnetic Fields under Accelerated Ageing Condition. *Journal of Agricultural Physics*, 9, 50-58.
- [37] Demirkaya, M., Dietz, K. J., Sivritepe, H. O. 2010. Changes in Antioxidant Enzymes During Ageing of Onion Seeds. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1), 49-52.
- [38] Sahu, A. K., Sahu, B., Soni, A., Naithani, S. C. 2017. Active Oxygen Species Metabolism in Neem (*Azadirachta indica*) Seeds Exposed to Natural Ageing and Controlled Deterioration. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(9), 197.
- [39] Peng, Q. I. N., Zhiyou, K. O. N. G., Xiaohong, L. I. A. O., Yeju, L. I. U. 2011. Effects of Accelerated Aging on Physiological and Biochemical Characteristics of Waxy and Non-Waxy Wheat Seeds. *Journal of Northeast Agricultural University*, 18(2), 7-12.
- [40] Barreto, L. C., Garcia, Q. S. 2017. Accelerated Ageing and Subsequent Imbibition Affect Seed Viability and The Efficiency of Antioxidant System in Macaw Palm Seeds. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(72), 1-8.
- [41] Pallavi, M., Kumar, S. S., Dangi, K. S., Reddy, A. V. 2003. Effect of Seed Ageing on Physiological, Biochemical and Yield Attributes in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) cv. Morden. *Seed Research-New Delhi*, 31(2), 161-168.

- [42] Scialabba, A., Bellani, L. M., Dell'Aquila, A. 2002. Effects of Ageing on Peroxidase Activity and Localization in Radish (*Raphanus sativus* L.) Seeds. *European Journal of Histochemistry*, 46(4), 351-358.
- [43] Tabatabaei, S. A. 2015. The Changes of Germination Characteristics and Enzyme Activity of Barley Seeds Under Accelerated Aging. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 48(2), 61-67.
- [44] Zhu, F., Zhou, Y. K., Ji, Z. L., Chen, X. R. 2018. The Plant Ribosome-Inactivating Proteins Play Important Roles in Defense Against Pathogens and Insect Pest Attacks. *Frontiers in Plant Science*, 9(146), 1-14.

Inductance Selection Criteria and Design Steps for Power Electronics Applications

Mustafa Ergin ŞAHİN*¹

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Bölümü, 53100, Rize, Türkiye

(Alınış / Received: 24.03.2019, Kabul / Accepted: 17.06.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Keywords

Inductance selection and design,
Ferrite cores and Litz wire,
Skin effect in inductance,
Inductance efficiency,
Power electronics converters

Abstract: The power electronics circuits are indispensable devices today for renewable energy applications and for storing energy. One of the main components of this power electronic circuits is the inductance. The inductance working as a live heart, store the energy and pumps the energy from the source to the load in converters, and supply continuously the current of the circuit to the load. The energy efficiency in the system depends on the inductance efficiency. So, a well-designed inductance is very important in order to operate the converter in continuous mode so the current flow is uninterrupted. In this paper, inductance selection criteria for the converters are investigated to work the converter in continuous mode from the literature and solved for the limit value condition equation. Also, the design steps of an inductance including necessary calculations are shown with an example application. The cores and wires effect to the inductance efficiency is also investigated in this paper. An inductance using Ferrite core and Litz wire is proposed and designed experimentally for a converter circuit. Measurements to determine the inductance value was shown. Also, the inductance current variations for higher frequencies are investigated, and used in the converter is shown.

Endüktans Seçim Kriteri ve Güç Elektroniği Uygulamaları için Tasarım Aşamaları

Anahtar Kelimeler

Endüktans seçim ve tasarımı,
Ferit çekirdekler ve litz teli,
Endüktans deri olayı etkisi,
Endüktans verimi,
Güç elektroniği çeviricileri

Özet: Güç elektroniği devreleri günümüzde yenilenebilir enerji uygulamaları ve enerji depolamak için kaçınılmaz aygıtlardır. Bu güç elektroniği devrelerinin ana elemanlarından biride endüktanstır. Endüktans bir canlının kalbi gibi çalışır, enerjini depolar ve çeviriciler de enerjini kaynaktan yüke doğru pompalar ve bu sayede yük devresine sürekli akım akışını sağlar. Bu yüzden iyi tasarlanmış bir endüktans çeviriciyi sürekli modda çalıştırmak için oldukça önemlidir ve böylece akım akışı kesintisiz olur. Bu çalışmada çeviriciyi sürekli modda çalıştırmak için gerekli bobin seçim kriteri literatürde incelenmiş ve sınır değer koşulu için kullanılan denklemler yardımıyla bulunmuştur. Yine gerekli denklemleri içeren tasarım aşamaları bir örnek uygulama ile gösterilmiştir. Çekirdek ve kabloların endüktans verimi üzerindeki etkisi de bu çalışmada incelenmiştir. Ferit çekirdek ve Litz teli kullanılan bir endüktans önerilmiş ve bir çevirici devresi için deneysel olarak tasarlanmıştır. Endüktans değerinin belirlenmesi için ölçümler gösterilmiştir. Ayrıca endüktans akım değişimleri yüksek frekanslar için araştırılmış, çeviricide kullanımı gösterilmiştir.

1. Introduction

The energy harvesting from renewables, and also using it more efficient is an important topic for the scientific researchers today. The power electronics circuits and devices are the main parts for renewable energy applications and also to be storable the energy efficiently. The scientific researchers are focused on design and control of the converters, and also increases the efficiency of the power electronic circuit's components.

One of the main components of the power electronics circuits is inductances. The electrical energy is stored

in the inductance temporarily in switch mode power converters. The inductance; which is like the heart in a human which storage and pump the blood, the storage the energy temporarily and pumps the energy from the source to load in switch mode converters, and supply continuously and the circuit current on the load [1, 2].

The energy efficiency of converters depends of course on the inductance efficiency. So a well-designed inductance is very important for the converter in continuous mode operation and continues the current to flow uninterrupted. The inductance value determines how to operate the converter under load

condition. There is a limit value for the converter to work in continuous and non-continuous mode. The inductance limit value is calculated for this criterion [3-5].

On the other hand, the switching frequency of the converter is related directly to the inductance size. To reduce the inductance size, the switching frequency can be selected to be more than 1 MHz in some applications.

Inductance design is an important research matter. It is possible to find more documents and papers about the calculation process and most of them are belong MAGNETICS Trade Company and the other corporations [6-9]. Also, it is possible to find software tools to calculate and give inductance values [10]. These studies are trying to generalize the method in a simple way. The first step in the design is to select a core for a suitable geometry and also materials [11]. An inductance with powder, sheet and ferrite cores made from different materials and Litz wire for winding are proposed and designed experimentally for a converter circuit [12, 13]. These special designs aim to reduce all the losses in the inductance [4]. The hysteresis curves of this inductance define the energy density, volume and wire turn [14]. Some differently designed inductances are found in literature such as a printed circuit board (PCB) design. This inductance design is aiming towards a compact and small system and also to solve the mutual inductance problem [15-18].

The winding area, winding resistance, and air gap length are the other main topics for inductance design. The calculation and details of these matters are important for the design of the inductance. The correct winding area calculation reduces the winding resistance, and air gap length which affects the inductance design. [12, 13, 20].

In this paper, suitable inductance selection criteria for power converters are investigated in detail and solved by using electromagnetics equations. Also, the design steps of inductance, necessary calculations, and information are shown with an example application. The cores and wires effect on the inductance efficiency are also investigated. An inductance with a Ferrite core and a special manufactured Litz wire is proposed, and designed experimentally for a converter circuit. Measurement for determination of an inductance value is shown. Also, the inductance current variations for different frequencies are studied and to be used in the converter safely.

2. Inductance Effect and Selection Criteria for Power Converters

The energy efficiency of converters depends a lot on the inductance efficiency and a well-designed inductance is very important for the converter in

continuous conduction mode. The inductance value is determining how to work the converter under different load conditions. The converters inductance voltage and currents are changes with switching signal as shown in Figure 1(a) The converter inductance current and voltages variations with PWM signal for continuous conduction mode is shown in Figure 1(b). The converter inductance current and voltages variations for discontinuous conduction mode are shown in Figure 1(c). In the turn off interval of the switching signal, the inductance current goes to zero with time in this mode. There is a limit value for the converter where it works in continuous and discontinuous mode. The inductance limit value is typically calculated for this criterion. Inductance current and voltage variation for the limit of continuous and discontinuous conduction mode is given in Figure 1(d) for a buck-boost converter circuit. The critical inductance value is calculated using this figure geometry. If the inductance current is above zero all in time the converter works in continuous conduction mode, else the converter works in discontinuous conduction mode. In this mode, the inductance voltage is going to zero and does not supply the load in a short time and the capacitor could also supply the load.

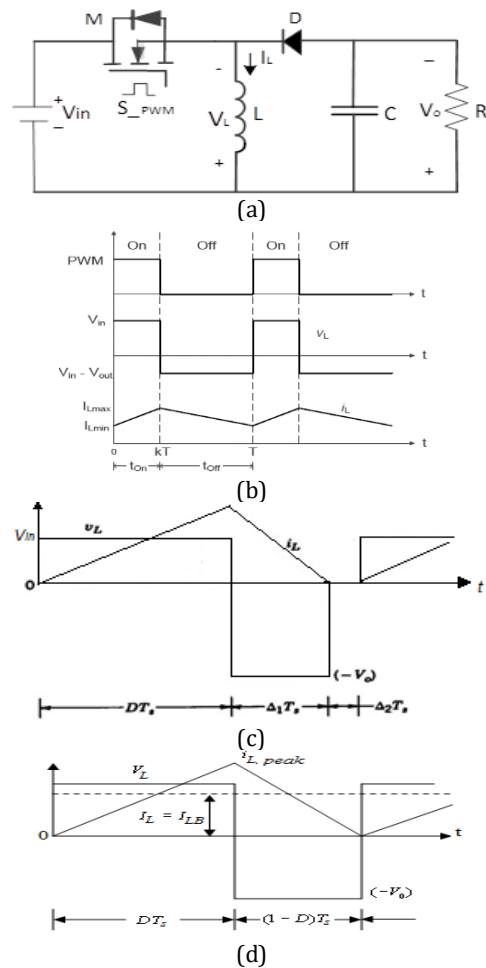


Figure 1. Buck-boost converter circuit (a), Inductance current and voltage variation; with PWM signal at the continuous mode (b), at the discontinuous mode (c) limit value between continuous and discontinuous mode (d)

Equation 1 can be written from Figure 1 (b).

$$I_{LB} = \frac{1}{2} i_{L_peak} = \frac{T_s V_{in}}{2L} D \quad (1)$$

If the capacitor current in Figure 1(a) is accepted zero, the inductance current is equal to input and output current sum for the converter. Using these equations, the inductance current average value (I_{LB}) and the output current depends on the output voltage for the limit values (I_{OB}) given in Equation 2 and 3 respectively. Equation 2 derived from Equation 1 using the relation between input and output voltage of the converter.

$$I_{LB} = \frac{T_s V_o}{2L} (1 - D) \quad (2)$$

$$I_{OB} = \frac{T_s V_o}{2L} (1 - D)^2 \quad (3)$$

The maximum values of I_{LB} and I_{OB} for the buck-boost converter have reached this value when the duty ratio is zero and this is given in Equation 4. This equation gives the minimum inductance value for the limit of continuous mode operation.

$$I_{LB_max} = I_{OB_max} = \frac{T_s V_o}{2L} \quad (4)$$

3. Design Steps of Inductance

The necessary calculations for inductance design will be given more detailed in this section with an example using the related documents and studies [6-9, 13, 14, 17]. The electromagnetic equations of inductance, core structures, and necessary calculations for wire effect and structures as well as power losses relation are also investigated.

The main component in inductance design is the core structure where to be used for magnetic flux flow is provided. Air cores, iron cores, ferrite and powder cores are known inductance cores. Ferrite and powder cores are preferred for high switching frequency power converters having less losses and saturation. Ferrite cores are cheaper and have low power losses at higher switching frequencies but the flux level is lower. These cores are obtained from Mn-Zn and Ni-Zn alloys and have F, P, R, K types depending on the alloy's ratios [8]. Also, the air gap in cores makes it preferable against the saturation. Powder cores have an air gap dispersed in the material due to the nature of the material from which they are produced, and this feature is ideal for switching rectifiers. In addition to a soft saturation characteristic, this feature provides a lot of design convenience, such as small core volume, overcurrent protection, low heat, and powder cores provide high levels of DA magnetic force characteristics without saturation [4, 8].

The other matter for core selection is core geometry and it is possible to find pot, E shape, toroid cores and the others in manufacturer catalogues depending on their applications. Pot cores, when assembled are nearly surrounded the wound bobbin and this aids in shielding the coil from picking up EMI from outside sources. Double slab and RM cores are also similar to pot cores but are designed to minimize board space, providing at least a 40 % savings in the mounting area. EP Cores are round centre-post cubical shapes which enclose the coil completely except for the printed circuit board terminals. PQ cores are designed especially for switched mode power supplies. The design provides an optimized ratio of volume to the winding area and surface area. E cores are less expensive than pot cores and have the advantages of simple bobbin winding plus easy to assemble. Also, E cores can be mounted in different directions, and if desired, they provide a low profile. EC, ETD, EER and ER shapes are a cross between E cores and pot cores. Like E cores, they provide a wide opening on each side. Toroid cores are economical to manufacture; hence, they are the least costly of all comparable core shapes. Since no bobbin is required, accessory and assembly costs are nil, but winding is done on toroidal winding machines. Ferrite geometries offer a wide selection in shapes and sizes. To choose a core for power applications the parameters in Table 1 can be used and evaluated [7, 9, 17, 19]. Different shapes of Ferrite core types are shown in Figure 2 [22].

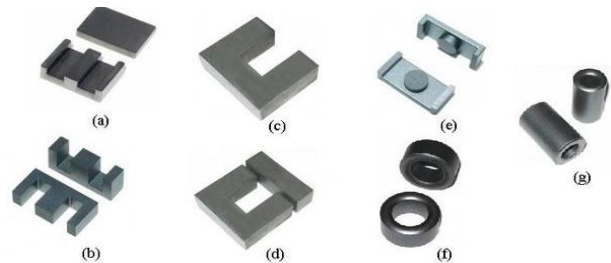


Figure 2. Different shapes of Ferrite cores; (a) E-I core, (b) E-E core, (c) U core, (d) U-I core, (e) EER core, (f) Toroid core, (g) Tube core [22]

E cores are more advantageous in terms of core, coil and winding prices and easy to use, also with cross-sectional area and window spacing of different sizes. E cores have a double flux path which reduces their dimensions and this allows for small footprint and easy installation on printed circuits. E cores air gap can be adjusted, but the fringe fluxes formed in cores with air gap lead to flow losses and eddy current (Eddy) losses on winding wires as shown in Figure 3 (a). Therefore, Kool M μ E powder cores with an equal air gap as shown in Figure 3 (b) are more preferred. The 10.500 gauss saturation level of the Kool M μ E powder cores provides higher energy storage capability that they can be achieved with the air gap ferrite E-cores, which means a smaller core size [19, 20].

Table 1. Comparison of ferrite core geometry types [7]

Core Type	POT CORES	DOUBLE SLAB, RM CORES	EP CORES	PQ CORES	E CORES	EC, ETD, EER, ER CORES	TOROIDS
Core Cost	High	High	Medium	High	Low	Medium	Very Low
Bobbin Cost	Low	Low	High	High	Low	Medium	None
Winding Cost	Low	Low	Low	Low	Low	Low	High
Winding Flexibility	Good	Good	Good	Good	Excellent	Excellent	Fair
Assembly	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple	Medium	None
Mounting Flexibility	Good	Good	Good	Fair	Good	Fair	Poor
Heat Dissipation	Poor	Poor	Poor	Good	Excellent	Good	Good
Shielding	Excellent	Good	Excellent	Fair	Poor	Poor	Good

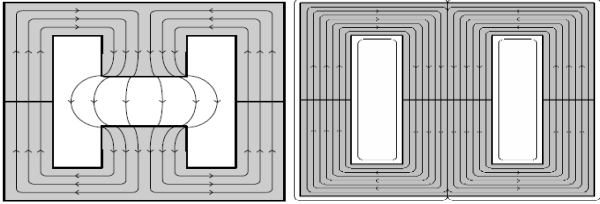


Figure 3. E cores and flux way; gapped Ferrite (a), Kool Mμ (b)

The basic principles of the inductance calculation are based on Faraday's laws. The B-H hysteresis curve between the magnetic flux density (B) and the magnetic field strength (H) for the inductance is given in Figure 4 (a). The relation between B and H are given in Equation 5 according to Figure 4 and magnetic permeability, which is equal to the product of the magnetic permeability of air and core. The magnetic permeability of the air $\mu_o = 1.26 \times 10^{-6} H/m$, the magnetic permeability of the material μ varies between 2000-4000 for Ferrite materials [14]. As the μ value increases, the B-H curve will reach a linear saturation as shown in Figure 4 (b). Therefore, the magnetic flux density must be selected small.

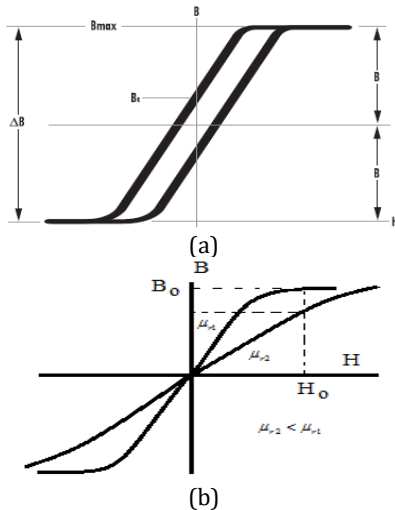


Figure 4. B - H hysteresis curve (a), the change of the B - H curve with different μ values (b)

The relationship between the magnetic flux density (B) and the magnetic field strength (H) is given in Equation 5 and gives the permeability of the core.

$$\mu = \frac{\Delta B}{\Delta H} \rightarrow B = \mu \times H = \mu \times \mu_o \times H \quad (5)$$

The inductance value is calculated using Equation 4 and the inductance value is calculated as a 0.72 mH for the maximum power current which is given as an 8.5 A and for the switching frequency. The maximum energy can be stored on the inductance is calculated for this maximum current in Equation 6.

$$LI^2 = (0.72 \times 10^{-3}) \times (8.5)^2 = 52.02 \times 10^{-3} \text{ Joule} \quad (6)$$

The Hanna curve obtained from the relation between B and H in Equation 6 is given in Figure 4 (a). V_e is defined as the volume in this equation.

$$H = \frac{LI^2}{V_e B_{max}} \quad (7)$$

If the centre of the scale on the Hanna curve is selected as seen in Figure 5 (a) the volume value (V_e) can be calculated as in Equation 8.

$$\frac{LI^2}{Volume} = 5.10^{-4} \rightarrow Volume = \frac{52.02 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-4}} = 104.04 \text{ cm}^3 \quad (8)$$

The nearest volume value from the E-type core catalogue of the manufacturer is 120 cm³ for the coded DMR40-EE70. The catalogue data for this core is given in Figure 5 (b).

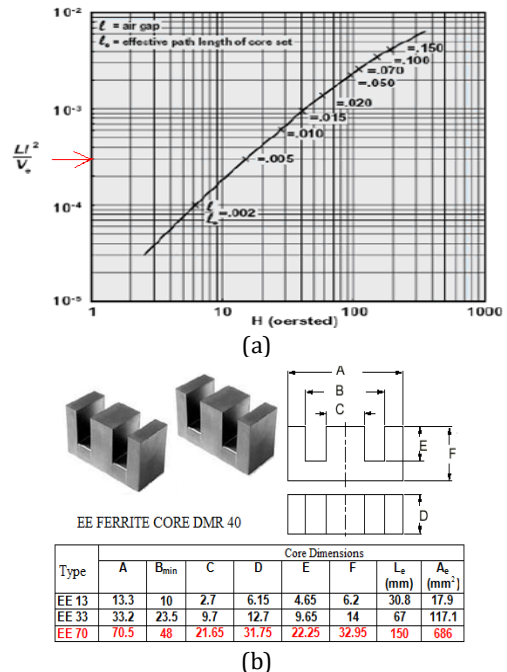


Figure 5. Hanna curve (a), catalogue data (b) of E-type ferrite core

For this volume value, the flux path, $L_e = 150$ mm and the flux path cross-sectional area is given as $A_e = 686$ mm². For new volume value selected is given in Equation 9.

$$\frac{LI^2}{Volume} = \frac{52.02 \times 10^{-3}}{102} = 0.51 \times 10^{-3} \text{ cm}^3 \quad (9)$$

If we look again at the Hanna curve in Figure 4 (a), it is found for the $\frac{LI^2}{Volume}$ corresponds to value $\frac{l}{l_e} = 0.005$ and $H = 20$. The winding number of the magnetic force from the Oersted expression in Equation 10 is found as:

$$H = \frac{0.4\pi NI}{l_e} \rightarrow N = \frac{H l_e}{0.4\pi I} = \frac{20 \times 14.9}{0.4 \times \pi \times 8.5} = 27.91 \cong 28 \text{ winding} \quad (10)$$

The cable cross-section to be used for the winding of the current $I_{LB,max} = 13.8$ A is selected from the standard table as 1.5 mm².

The next step is the selection of the type of wire to be used. The effect of the skin phenomenon at high frequencies and the proximity effect of the cables adversely affect the uniform distribution of the current in the conductive wire as seen in Figure 6 (a) and (b) [12, 21].

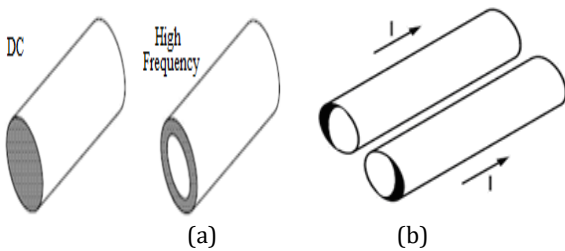


Figure 6. Skin effect with high frequency (a), and the effect of closure effect of the wire (b)

Various solutions have been proposed to eliminate the effects of skin phenomenon. The major ones are the use of multi-stranded Litz wires, the use of multi-core winding cables or the use of ribbon cables [21]. The cross sections of this type of wires are shown in Figure 7.

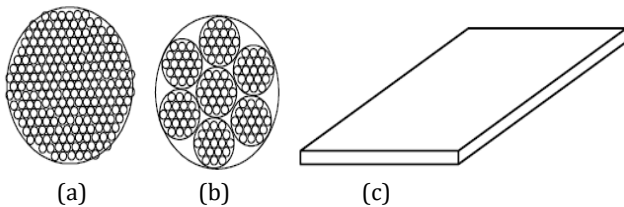


Figure 7. Various wires cross sections; (a) Litz wire, (b) multi-core wire, (c) strip wire

According to the catalogue data for Litz wire, the cable cross section is taken as two times for the same load flow capacity and the cross-section area for a single wire and required window spacing is calculated as given in Equation 11, 12.

$$A_w = 2 \times 1.5 \times 10^{-2} = 3 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \quad (11)$$

$$W_A = 3 \times 10^{-2} \left(\frac{42}{0.4} \right) = 263 \times 10^{-2} = 2.63 \text{ cm}^2 \quad (12)$$

The window spacing for the DMR40-EE70 coded E core can be calculated as in Equation 13 using Figure 5 (b) catalogue data. This value is greater than the calculated value for wire winding and the core window spacing is sufficient.

$$W_A = E(B - C) = 5.86 \text{ cm}^2 \quad (13)$$

There is no need for an air gap calculation for Kool powder core materials with an equal air gap as mentioned before. Air gap for the Ferrite cores can be calculated as in Equation 14.

$$\frac{l}{l_e} = 0.005 \rightarrow I = 14.9 \times 0.005 = 0.0745 \text{ cm} \quad (14)$$

4. Experimental Design for an Application

Realization of the inductance experimentally, measurements of inductance value, and study condition under current are given in this section. In accordance with the calculations, the required inductances are designed by using Litz wire, which is specially wrapped with the appropriate coil supplied from the market. The E cores are combined together with a frame where the windings wound are as shown in Figure 8 (a). So, the electromagnetic flux will be flow in this core without any leakage. The last appearance of the designed inductance with Litz wire wound and fixed on a frame is shown in Figure 8 (b). Considering the unexpected situations in use, losses and sudden loadings, the winding numbers and therefore the inductance values were selected a little too large.

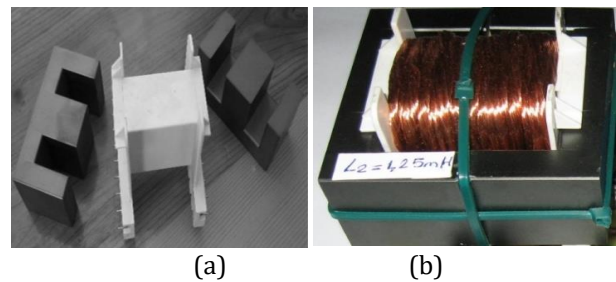


Figure 8. The used E cores with a frame (a), designed inductance with Litz wire wound and fixed on a frame (b)

The next step is the measurement or to determine the inductance value. Using an LCR meter and measure the inductance value is an easy method. Alternatively, an LC resonance circuit can be used to estimate the inductance value by applying different frequencies. The value of the designed inductance is measured to be 1.2 mH depend on the winding values which are a few spins more.

The study of the inductance on a switch mode power converter is shown in Figure 8. The inductance current measured with a current probe which is rated 50 mV/A. Also, the inductance current and voltage are shown in Figure 9 for a duty cycle of 0.5. When the voltage is applied to the inductance the current increases linearly and when the voltage is not applied the current is continuous to flow through the inductance and the inductance behaves as a voltage source. This cycle is called a continuous mode. For the circuit, the switching frequency is 29.2 kHz and inductance maximum current is 5 A for this application.

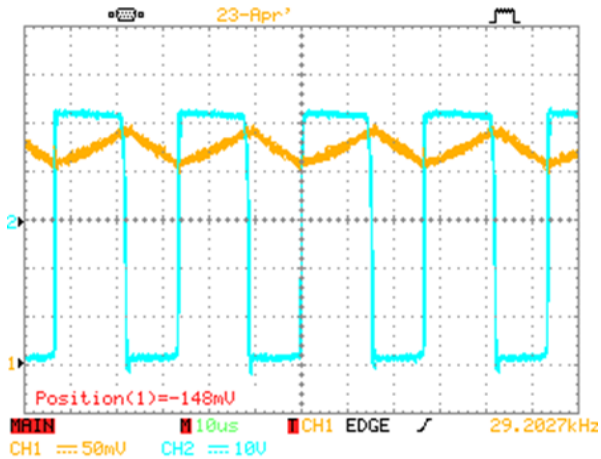


Figure 9. Inductance voltage variation with current for a buck-boost converter circuit. CH1 (Inductance current 50 mV/1A), CH2 (Inductance voltage)

5. Conclusion

The inductance selection criteria and design steps for power electronics applications which are scattered and rarely found in the literature and manufacturer catalogues are investigated in this paper in more detailed. Different studies and applications in literature are used and expanded with an example and application as a fundamental study for researchers who will study on inductance design. Inductance operation and selection criteria for power converters are firstly given in this paper more detailed as a guideline for researchers with a methodology. Inductance effect and selection criteria are investigated for a buck-boost converter design. The calculations and the design steps of inductance related to these criteria are also given more detail. In the experimental and the application part, measurement of the inductance value and behaviour for power converters are given. These results show that the designed inductance supplied the expectation. This study has brought together different studies on this subject and created a fundamental and useful resource for researchers. The losses, efficiency, heat increase of designed inductance and electromagnetic interference for electromagnetic compatibility can be investigated in the future.

Acknowledgment

This study was supported through The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK), project number, 111E292. The authors wish to thank for the support of TUBITAK. Also, the authors wish to thank Prof. Halil İbrahim Okumuş from KTU/Turkey and Prof. Frede Blaabjerg from Aalborg University/Denmark for the contributions.

References

- [1] Mohan, N., Undeland, T. M., Robbins, W. P. 1995. Power Electronics. John Wiley, USA, 832p.
- [2] Khalig, A. Nie, Z. Emadi, A. 2009. Integrated Power Electronic Converters and Digital Control. CRC Press, Boca Raton, 350p.
- [3] Shaiu, J. K., Cheng, C. J. 2010. Design of a non-inverting synchronous buck-boost DC/DC power converter with moderate power level. Robotics, and Computer-Integrated Manufacturing, 26(3), 263-267.
- [4] You, B. G., Kim, J. S., Lee, B. K., Choi, G. B., Yoo, D. W. 2011. Optimization of Powder Core Inductors of Buck-Boost Converters for Hybrid Electric Vehicles. Journal of Electrical Engineering & Technology, 6(4), 527-534.
- [5] Rylko, M. S., Lyons, B. J., Hayes, J. G., Egan, M. G. 2011. Revised Magnetics Performance Factors and Experimental Comparison of High-Flux Material for High-Current DC-DC Inductors. IEEE Transactions on Power Electronics, 26(8), 2112-2126.
- [6] Fair-Rite Products Corp. 2005. The Effect of Direct Current on the Inductance of a Ferrite Core, Technical Information, 14th Edition, pp:165-169.
- [7] Anonim. 2006, Magnetics Corporation, General Core Selection Data Sheet, Section 4, USA.
- [8] Mcylayman, C. W. T. 2016. Transformer and inductor design handbook. CRC Press, California, 667p.
- [9] Aucejo, B., M., Deü, J., Multon, F. B. 2017. Lossouarn Design of inductors with high inductance values for resonant piezoelectric dampin. Sensors, and Actuators A: Physical, 259, 68-76.
- [10] Anonim. 2019, Coilcraft Inc, Power Inductor Finder. https://www.coilcraft.com/apps/power_tools/power/. (Erişim Tarihi: 01.03.2020).
- [11] Grandi, G., Kazimierczuk, M. K., Massarini, A., Reggiani, U., Sancineto, G. 2004. Model of laminated iron-core inductors for high frequencies. IEEE Transactions on Magnetics, 40(4), 1839-1845.

- [12] Williams, A., 2011. Fundamentals of Magnetics Design: Inductors and Transformers, Lecturer Notes.
- [13] Sahin, M. E. 2014. Design and Control of Parallel Connected Buck-Boost Converter for Hybrid Energy System. Ph.D. Dissertation, Karadeniz Technical University, 202p, Trabzon.
- [14] Gary, L. J. 2001. Inductors and Transformers. Solid State Tesla Coil, Chapter 4.
- [15] Orenchak, G. 1999. Boost Material Improves Inductor Characteristics under DC Bias Conditions, PCIM Article, 1, 1-3.
- [16] Sonntag, C. L. W., Lomonova, E. A., Duarte, J. L. 2008. Implementation of the Neumann formula for calculating the mutual inductance between planar PCB inductors. In Electrical Machines, 18th International Conference on IEEE, 6-9 September, Vilamoura, Portugal, 1-6.
- [17] Macrelli, E., Romani, A., Wang, N., Roy, S., Hayes, M., Paganelli, R. P., Tartagni, M. 2014. Modeling, design, and fabrication of high-inductance bond wire micro transformers with a toroidal ferrite core. IEEE Transactions on Power Electronics, 30(10), 5724-5737.
- [18] Gala, K., Zolotov, V., Panda, R., Young, B., Wang, J., Blaauw, D., 2000, On-chip inductance modeling and analysis. In Proceedings of the 37th Annual Design Automation Conference, 5-9 June, USA, 63-68.
- [19] Anonim. 2005. Magnetics Kool, M μ E-Cores, Technical Bulletin, Bulletin No: KMC-E1, Magnetics.
- [20] Şahin, M. E. Okumus, H. I. 2019. Inductance Selection Criteria and Design Steps for Power Electronics Applications. 16TH International Conference of Young Scientists on Energy Issues (CYSENI), 23-24 May, Kaunas, Lithuania.
- [21] Ben-Yaakov, S., 2019, Magnetic design, Switch mode DC-DC converters, Part 3, Lecturer slides, <http://www.ee.bgu.ac.il/~dcdc/slides/index.html>. (Erişim Tarihi: 01.03.2020).
- [22] Saeed, R., 2018, Design and characterisation of a high energy-density inductor. Ph.D. Thesis, University of Nottingham, England.

Fiber Metal Laminatların Şekillendirilebilme Kabiliyetinin İncelenmesi

Ali İŞIKTAŞ^{*1}, Vedat TAŞKIN²

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Hayrabolu Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü, 59400, Tekirdağ, Türkiye
²Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 22100, Edirne, Türkiye

(Alınış / Received: 13.02.2020, Kabul / Accepted: 09.09.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Şekillendirilebilirlik,
Fiber metal laminat,
Bükme kuvveti,
Karbon elyaf

Özet: Bu çalışmada, havacılık sektöründe kullanılan fiber metal laminatların (FML) şekillendirilebilme kabiliyeti deneysel olarak incelenmiştir. FML numunelerin alt ve üst tabakalarında iki farklı kalınlıkta (0,6 ve 1,2 mm) Al5754-H22 sac levhalar kullanılmıştır. FML numunelerin orta tabakasında prepreg karbon elyaf kumaştan üretilen karbon elyaf plaka bulunmaktadır. FML malzemelerin şekillendirilme kabiliyetini incelemek amacıyla numuneler farklı bükme açılarında şekillendirilmiştir. Deneyler sırasında 0,6 mm Al 5754 kullanılan FML numuneler tüm bükme açılarında şekillendirilirken, 1,2 mm Al 5754 kullanılan FML numunelerin 75° ve 90° bükme testlerinde ise numunelerin dış tarafındaki alüminyum tabakasında yırtılma hasarı görülmüştür. Ayrıca FML numunelerin şekillendirilmesinde, bükme açısı ve alüminyum tabaka kalınlığının artmasıyla bükme kuvveti değerinin arttığı tespit edilmiştir.

Investigation on Formability of Fiber Metal Laminates

Keywords

Formability,
Fiber metal laminate,
Bending force,
Carbon fiber

Abstract: In this study, the formability of fiber metal laminates (FML) used in aerospace industry were experimentally examined. Al5754-H22 sheets in two different thicknesses (0.6 and 1.2 mm) were used in top and bottom layers of FML specimens. Carbon fiber plates made of prepreg carbon fiber fabrics were placed in the middle layer of FML specimens. In order to examine the formability of FML materials, the specimens were formed in different bending angles. While all FML specimens with 0.6 mm Al 5754 were formed in all bending angles throughout the experiments, crack failures were observed in outer aluminum layer of the FML specimens with 1.2 mm Al 5754 at 75° and 90° bending angles. It was also reported in forming of FML specimens that the bending force value increased as the bending angle and the thickness of aluminum layer increased.

1. Giriş

Havacılık ve otomotiv endüstrisinde önemli avantajlar sunan fiber metal laminatların (FML) kullanımına ve imalatına artan bir ilgi bulunmaktadır [1]. Özellikle, havacılık sektöründe yüksek performanslı ve hafif yapılara olan talep nedeniyle fiber metal laminatların (FML) önemi artmıştır [2]. FML'ler metal malzemelerin yorulma ve hasar toleransını iyileştirmek amacıyla ince metal malzemeler ile fiber malzemelerin birleştirilmesiyle oluşturulan hibrit malzemelerdir [3]. Metal ve fiber malzemelerin çeşitli kombinasyonlarla bir araya gelmesiyle oluşan fiber metal laminatlar geleneksel malzemelere göre üstünlük sağlamaktadır [4]. FML'lerin aynı kalınlıktaki yekpare alüminyum malzemeye göre yoğunluğu daha azdır [5]. Örneğin karbon elyaf-alüminyumdan oluşan hibrit bir

malzeme eşdeğer alüminyum malzemeye göre %56'ya kadar ağırlık tasarrufu sağlamaktadır [6,7]. Bu avantaj havacılık sektörü gibi ağırlığın önemli olduğu bir alanda daha fazla önem arz etmektedir. Ayrıca, FML'ler korozyon direnci ve nem direnci gibi çevresel etkilere karşı yekpare alüminyum malzemeye göre daha dayanıklıdır [8].

FML'lerin üretimi esnasında birçok şekillendirme ve kurlama aşamalarına gereksinim duyulmaktadır. Özellikle, karmaşık geometriye sahip FML'lerin üretilmesinde bu aşamalar yoğun işgücü ve pahalı işlemlere sebebiyet verdiği için maliyet artışına neden olmaktadır. Bu sebeple FML'lerin üretimi esnasında alternatif bir şekillendirme yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır [4]. Bu nedenle, FML malzemeler bu çalışmada sac metal şekillendirme prosesinde şekillendirilmiştir.

*İlgili yazar: aisiktas@nku.edu.tr

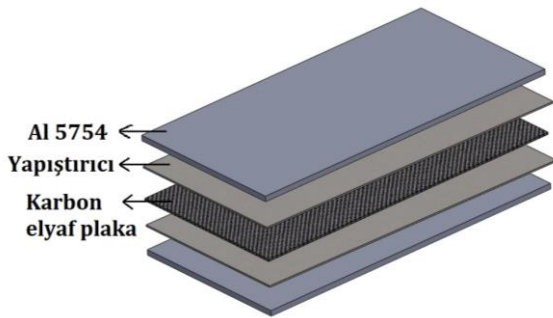
FML'lerin şekillendirilebilme kabiliyeti düşük olduğu için bükme işlemi esnasında malzemede çeşitli geometrik kusurlar meydana gelmektedir [2]. Yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde, FML'lerin şekillendirilmesi esnasında malzemelerde yırtılma, çatlama, deformasyon ve birleşme bölgesinden ayrılmalar görülmüştür [9-13].

Hahn ve arkadaşları, farklı fiber yönlerindeki FML malzemelerin farklı bükme sıcaklıklarında şekillendirilmesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Düşük sıcaklıktaki bükme testlerinde, malzemelerin büküm bölgesi üzerinde yırtılma hasarı oluştuğunu belirtmişlerdir [14]. Uriya ve arkadaşları, fiber metal laminatların ve karbon elyaf plakaların farklı sıcaklıklarda şekillendirilmesini incelemiştir. Deneylerde, sıcaklığın artmasıyla fiber metal laminatların bükülebilme kabiliyetinin arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, sadece karbon fiberden oluşan deney numunelerinin bükülmesinde ise numune yüzeyinde yırtılma hasarının olduğu belirtilmiştir [15].

Fiber metal laminatların şekillendirilebilme kabiliyeti üzerine çalışmalar literatürde yer aldığı görülmüş, fakat farklı bükme açılarındaki davranışı henüz çalışılmamış olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple çalışmada, fiber metal laminatların farklı bükme açılarında şekillendirilebilme kabiliyeti araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

FML numunelerin alt ve üst tabakalarında iki farklı kalınlıkta (0,6 ve 1,2 mm) Al5754-H22 sac levhalar kullanılmıştır. FML numunelerin orta tabakasında ise 0,15 mm kalınlığında karbon elyaf plaka bulunmaktadır. Karbon elyaf plakanın üretiminde tek yönlü prepreg karbon elyaf kumaşlar kullanılmıştır. FML numuneyi oluşturan alüminyum sac, karbon elyaf plaka ve yapıştırıcının dizilimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Karbon elyaf kumaşın özellikleri Tablo 1'de, Al5754-H22'nin mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. FML yapının oluşum şeması.

Tablo 1. Karbon elyaf kumaşın özellikleri

Dokuma türü	Elyaf ağırlığı (gr/m ²)	Reçine ağırlığı (gr/m ²)	Reçine oranı (%)	Elyaf kalınlığı (mm)
-------------	-------------------------------------	--------------------------------------	------------------	----------------------

Plain	93	107	35-37	0,15
-------	----	-----	-------	------

Tablo 2. Alüminyum 5754-H22 kimyasal bileşimi (%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
0,40	0,40	0,10	0,50	3,2	0,20	0,15	0,30

Alüminyum ve karbon elyaf plakalar arasında daha iyi bir yapışma dayanımı elde etmek için mikroskobik yapışma alanını arttıran pürüzlendirme işlemi yapılmıştır [16]. Zımpara ile aşındırma işlemi esnasında yüzeylerde biriken alüminyum ve karbon elyaf tozlarını temizlemek için LPS marka Hdx temizleyici kullanılmıştır. Bu yüzey temizleyici solvent, zımparalama işlemiyle oluşan talaş, kir ve tozların yapıştırma yüzeyindeki gözenekleri doldurmasını engellemektedir [17].

Yapıştırma işlemi öncesi Devcon marka Metal Prep 90 primer kullanılmıştır. Metal Prep 90 alüminyum ve paslanmaz çelik yüzeylerde metakrilat bazlı yapıştırıcıların daha uzun süreli ve daha kalıcı yapışmasını sağlayan kimyasal bir primer ve yüzey düzenleyicidir [18]. Deneylerde bu primer, yapıştırılacak malzeme yüzeylerine ince bir katman halinde yüzeyi kaplayınca kadar püskürtülerek uygulanmıştır. Kullanılan primer oda sıcaklığında hızlı kuruma yaptığı için 3 dakika bekledikten sonra hemen yapıştırma işlemine geçilmiştir. Primer uygulanmış alüminyum levha yüzeyleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

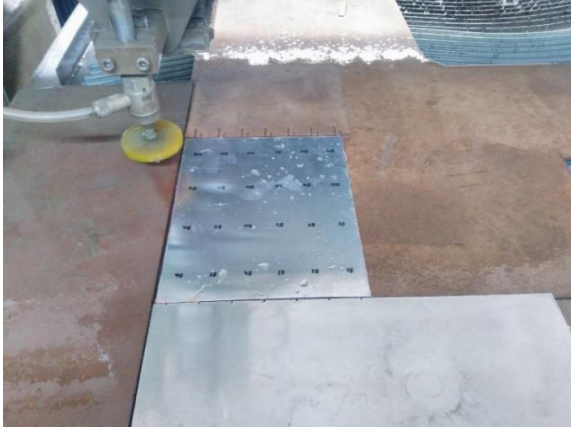


Şekil 2. Primer uygulanmış alüminyum levha yüzeyleri.

Alüminyum ve karbon elyafın yapıştırma işlemi, Devcon marka Plastic Welder yapıştırıcı kullanılmıştır. İki bileşenli olan yapıştırıcı ilk önce bir kaba boşaltılmış ve burada homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır. Daha sonra, karıştırılan yapıştırıcı birleştirilecek parçaların yüzeylerine düzgün bir biçimde sürülmüştür. Yapıştırıcının oda sıcaklığında iyi bir yapıştırma mukavemetine sahip bir tabaka oluşturabilmesi için yapıştırılan malzemeler yapıştırma aparatı içinde 24 saat sabit basınç altında bekletilmiştir.

Yapıştırma işlemi sonrası 200x250 mm boyutlarındaki FML plakalar su jeti ile alüminyum sacın haddelme yönünde, 30x60 mm ebatlarında kesilerek deney numuneleri oluşturulmuştur. Su jeti

kullanıldığı için kesilen deney numunelerinin kenarlarında herhangi bir çapak meydana gelmemiştir. FML plakaların su jeti ile kesimi Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. FML plakaların su jeti ile kesimi.

Su jeti ile kesme işlemi sonrası bükme deneylerinde kullanılan FML deney numuneleri Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. FML deney numuneleri.

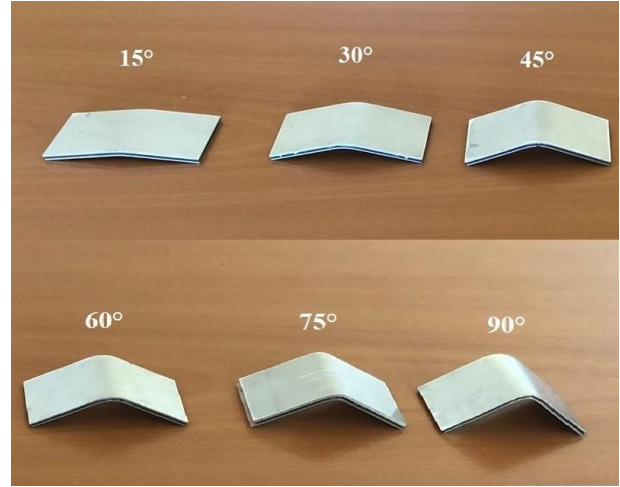
FML malzemelerin şekillendirilebilme kabiliyetini incelemek amacıyla numuneler farklı bükme açılarındaki şekillendirilmiştir. Deneylerde, FML numuneleri şekillendirmek için 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarındaki V bükme kalıpları kullanılmıştır. Yapılan deneylerde bükme hızı ve zımba yarıçapı sabit alınmıştır.

3. Bulgular

3.1. Bükme Açısının FML Malzemenin Şekillendirilmesi Üzerindeki Etkisi

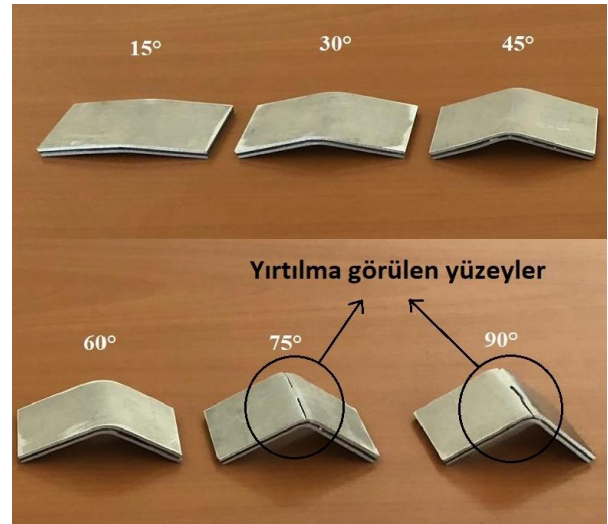
FML numunelerin orta tabakasında 0,15 mm kalınlığında karbon elyaf plakalar kullanılırken, alt ve üst tabakalarında ise iki farklı kalınlıkta (0,6 ve 1,2 mm) Al5754 sac kullanılmıştır. Üretilen FML numuneler 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° bükme açılarındaki şekillendirilmiştir. Bükme işlemi sonrası FML malzemelerin yapısı ve bükme kuvvetleri incelenmiştir.

0,6 mm Al5754 ve 0,15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen FML numunelerin bükme işlemi sonrası görünümleri Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. 0,6 mm Al 5754 ve 0,15 mm karbon elyaf plakadan üretilen FML numunelerin bükme sonrası görünümleri.

1,2 mm Al5754 ve 0,15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen FML numunelerin bükme işlemi sonrası görünümleri Şekil 6'da verilmiştir.



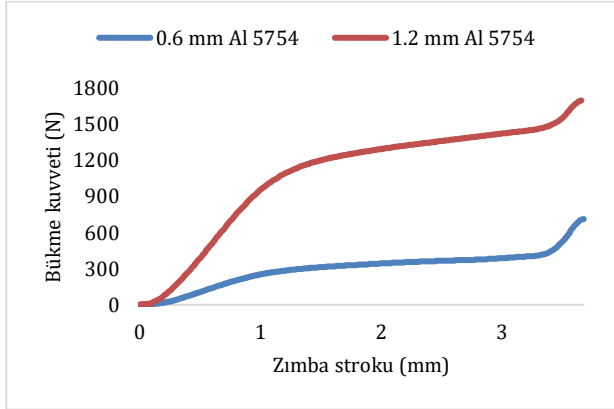
Şekil 6. 1,2 mm Al 5754 ve 0,15 mm karbon elyaf plakadan üretilen FML numunelerin bükme sonrası görünümleri.

Bükme işlemi sonunda 15°, 30°, 45°, 60° bükme açılarındaki numunelerde yırtılma hasarı görülmezken, 75° ve 90° bükülen numunelerin dış yüzeyindeki alüminyumlarda yırtılma hasarı oluşmuştur. 75° ve 90° bükülen numunelerde oluşan yırtılma hasarları Şekil 6'da gösterilmiştir. FML numunelerin şekillendirilmesinde, bükme açısının artması ile yırtılma hasarlarının oluştuğu tespit edilmiştir. Bükme açısının artması, numunenin büküm bölgesinde oluşan gerilmeleri arttırmaktadır. Karbon elyaf ve alüminyum tabakaları kaymayacak şekilde bağlandığından, bu bükülme açılarındaki gelişen büyük arayüzey kesme gerilmeleri nedeniyle yırtılma hasarlarının meydana geldiği sonucuna varılabilir. Fiber metal laminatların şekillendirilmesi

neticesinde malzemenin dış yüzeyinde oluşan yırtılma hasarı benzer çalışmalarda da görülmüştür [19,20].

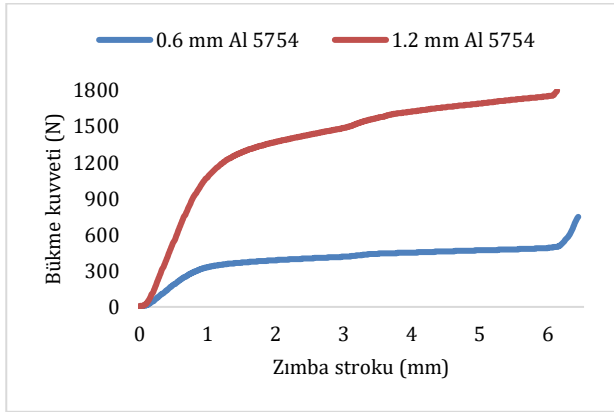
3.2. Bükme Açısı ve Alüminyum Kalınlığının Bükme Kuvveti Üzerindeki Etkisi

Deneylerin yapıldığı bükme cihazından alınan verilere göre, FML deney numunelerinin şekillendirilmesi için bükme kuvveti-zımba strok eğrileri oluşturulmuştur. Farklı kalınlıkta Al5754 kullanılan FML numunelerinin farklı bükme açıları için bükme kuvveti-zımba strok eğrileri Şekil 7-12'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Farklı kalınlıkta Al5754 kullanılan FML numunelerinin 15° bükme açısındaki bükme kuvvetleri.

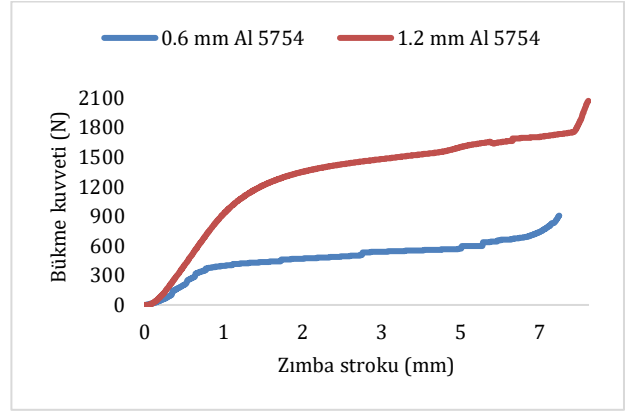
Şekil 7 incelendiğinde, 15°'lik bükme işleminde 0,6 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde ortalama bükme kuvveti 708 N iken, 1,2 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde ise 1692 N olarak ölçülmüştür.



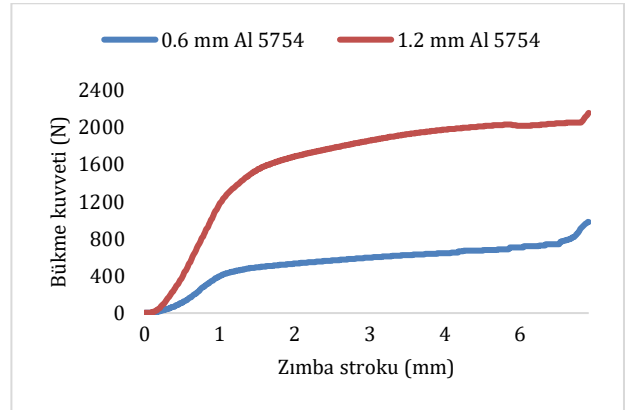
Şekil 8. Farklı kalınlıkta Al5754 kullanılan FML numunelerinin 30° bükme açısındaki bükme kuvvetleri.

Şekil 8 incelendiğinde, 30°'lik bükme işleminde 0,6 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde ortalama bükme kuvveti 747 N iken, 1,2 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde ise 1787 N olarak ölçülmüştür.

Şekil 9 incelendiğinde, 45°'lik bükme işleminde 0,6 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde ortalama bükme kuvveti 904 N iken, 1,2 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde ise 2066 N olarak ölçülmüştür.

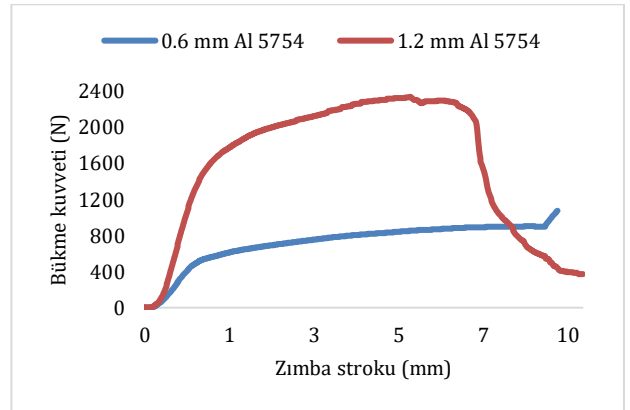


Şekil 9. Farklı kalınlıkta Al5754 kullanılan FML numunelerinin 45° bükme açısındaki bükme kuvvetleri.



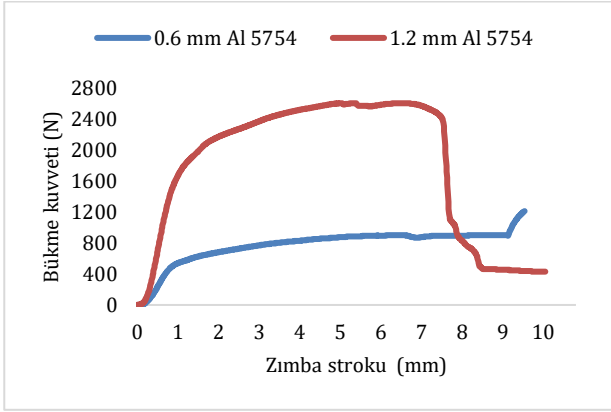
Şekil 10. Farklı kalınlıkta Al5754 kullanılan FML numunelerinin 60° bükme açısındaki bükme kuvvetleri.

Şekil 10 incelendiğinde, 60°'lik bükme işleminde 0,6 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde ortalama bükme kuvveti 976 N iken, 1,2 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde ise 2186 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 11. Farklı kalınlıkta Al5754 kullanılan FML numunelerinin 75° bükme açısındaki bükme kuvvetleri.

Şekil 11 incelendiğinde, 75°'lik bükme işleminde 0,6 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde ortalama bükme kuvveti 1068 N iken, 1,2 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde ise malzemenin dış yüzeyindeki alüminyumda yırtılma hasarı meydana geldiği için bükme kuvvetinde 2326 N'dan sonra azalma görülmüştür.



Şekil 12. Farklı kalınlıkta Al5754 kullanılan FML numunelerin 90° bükme açısındaki bükme kuvvetleri

Şekil 12 incelendiğinde, 90°'lik bükme işleminde 0,6 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde ortalama bükme kuvveti 1206 N iken 1,2 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde ise malzemenin dış yüzeyindeki alüminyumda yırtılma hasarı meydana geldiği için bükme kuvvetinde 2602 N'dan sonra azalma görülmüştür.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada karbon elyaf plaka ve alüminyum sac levhadan üretilen fiber metal laminatların şekillendirilme kabiliyeti incelenmiştir. Ayrıca, FML malzemelerin şekillendirilmesinde bükme kuvveti-zımba strok eğrileri analiz edilmiştir.

Farklı kalınlıkta (0,6 ve 1,2 mm) Al5754 kullanılan FML numunelerin farklı bükme açılarında (15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) şekillendirilmesi esnasında, tüm bükme açılarında 1,2 mm Al5754 kullanılan FML numunelerde daha fazla bükme kuvveti gerektiği tespit edilmiştir.

0,6 mm Al5754 ve 0,15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen FML numunelerin farklı bükme açılarında şekillendirilmesi neticesinde, bükme açısının artması ile FML numunelerde (0,6/0,15/0,6 mm) bükme kuvveti değerinin arttığı tespit edilmiştir.

1,2 mm Al5754 ve 0,15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen FML numunelerin farklı bükme açılarında şekillendirilmesi neticesinde, bükme açısının artması ile FML numunelerde (1,2/0,15/1,2 mm) bükme kuvveti değerinin arttığı tespit edilmiştir.

1,2 mm Al5754 ve 0,15 mm kalınlığında karbon elyaf plakadan üretilen FML numunelerin şekillendirilmesi neticesinde; 15°, 30°, 45°, 60° bükme açılarındaki numunelerde yırtılma hasarı görülmezken, 75° ve 90° bükülen numunelerin dış yüzeyindeki alüminyumlarda yırtılma hasarı oluşmuştur. Karbon elyaf plaka ve Al sac tabakaları kaymayacak şekilde

bağlandığından, bu bükülme açılarında gelişen büyük arayüzey kesme gerilmeleri nedeniyle yırtılma hasarlarının meydana geldiği sonucuna varılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje numarası: 2017/185.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Reyes, G., Kang, H. 2007. Mechanical Behavior of Lightweight Thermoplastic Fiber-Metal Laminates. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1-3), 284-290.
- [2] Keipour, S., Gerdooei, M. 2019. Springback Behavior of Fiber Metal Laminates in Hat-Shaped Draw Bending Process: Experimental and Numerical Evaluation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100(5-8), 1755-1765.
- [3] Şen, İ. 2015. Lay-up optimisation of fibre metal laminates: development of a design methodology for wing structures, Delft University of Technology, PhD Thesis, 61s, The Netherlands.
- [4] Mosse, L., Compston, P., Cantwell, W. J., Cardew-Hall, M., Kalyanasundaram, S. 2006. Stamp Forming of Polypropylene Based Fibre-Metal Laminates: The Effect of Process Variables on Formability. *Journal of Materials Processing Technology*, 172(2), 163-168.
- [5] Gülcan, O., Tekkanat, K., Çetinkaya, B. 2019. Fiber Metal Laminatlar ve Uçak Sanayiinde Kullanımı Üzerine Bir İnceleme. *Mühendis ve Makina*, 60(697), 262-288.
- [6] Kim, P. 1998. A Comparative Study of The Mechanical Performance and Cost of Metal, FRP, and Hybrid Beams. *Applied Composite Materials*, 5(3), 175-187.
- [7] Huang, Z., Sugiyama, S., Yanagimoto, J. 2013. Hybrid Joining Process for Carbon Fiber Reinforced Thermosetting Plastic and Metallic Thin Sheets by Chemical Bonding and Plastic Deformation. *Journal of Materials Processing Technology*, 213(11), 1864-1874.
- [8] Alderliesten, R. 2009. On The Development of Hybrid Material Concepts for Aircraft Structures. *Recent Patents on Engineering*, 3(1), 25-38.

- [9] Rajkumar, G. R., Krishna, M., Narasimhamurthy, H. N., Keshavamurthy, Y. C., Nataraj, J. R. 2014. Investigation of Tensile and Bending Behavior of Aluminum Based Hybrid Fiber Metal Laminates. *Procedia Materials Science*, 5, 60-68.
- [10] Khalili, S. M. R., Daghigh, V., Eslami Farsani, R. 2011. Mechanical Behavior of Basalt Fiber-Reinforced and Basalt Fiber Metal Laminate Composites under Tensile and Bending Loads. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30(8), 647-659.
- [11] Wang, J., Yu, Y., Fu, C., Xiao, H., Wang, H., Zheng, X. 2020. Experimental Investigation of Clinching CFRP/Aluminum Alloy Sheet with Prepreg Sandwich Structure. *Journal of Materials Processing Technology*, 277, 116422.
- [12] Botelho, E. C., Silva, R. A., Pardini, L. C., Rezende, M. C. 2006. A Review on The Development and Properties of Continuous Fiber/Epoxy/Aluminum Hybrid Composites for Aircraft Structures. *Materials Research*, 9(3), 247-256.
- [13] Kim, S. Y., Choi, W. J., Park, S. Y. 2007. Spring-Back Characteristics of Fiber Metal Laminate (GLARE) in Brake Forming Process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(5-6), 445-451.
- [14] Hahn, M., Ben Khalifa, N., Weddeling, C., Shabaninejad, A. 2016. Springback Behavior of Carbon-Fiber-Reinforced Plastic Laminates with Metal Cover Layers in V-Die Bending. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 138(12), 1-10.
- [15] Uriya, Y., Ikeuch, K., Yanagimoto, J. 2014. Cold and Warm V-Bending Test for Carbon-Fiber-Reinforced Plastic Sheet. *Procedia Engineering*, 81, 1633-1638.
- [16] Urkmez Taskin, N., Taskin, V., Sahin, A. 2016. Kompozit Metal Köpük Malzemelerin Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının Kesme Dayanımının İncelenmesi. 4th International Conference on Welding Technologies and Exhibition, 11-13 Mayıs, Gaziantep, 1052-1059.
- [17] Işıktaş, A., Taşkın, V. 2020. Alüminyum-Karbon Elyaf Sandviç Kompozit Levhaların V-Bükme İşleminde Bükme Açılarının ve Bükme Yönlerinin Geri Esneme Üzerindeki Etkisi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 281-290.
- [18] Urkmez Taskin, N., Sahin, A. 2019. Effect of Aging Time at High Temperature on the Shear Strength of Adhesively Bonded Aluminum Composite Foam Joints. *The Journal of Adhesion*, 95(4), 308-324.
- [19] Uriya, Y., Yanagimoto, J. 2016. Suitable Structure of Thermosetting CFRP Sheet for Cold/Warm Forming. *International Journal of Material Forming*, 9(2), 243-252.
- [20] Yanagimoto, J., Ikeuchi, K. 2012. Sheet Forming Process of Carbon Fiber Reinforced Plastics for Lightweight Parts. *CIRP annals*, 61(1), 247-250.

Kişi Başına Elektrik Tüketiminin Dalgacık Dönüşümüne Dayalı Tahmini

Aytaç PEKMEZCİ¹

¹Muğla Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 48000, Muğla, Türkiye

(Alınış / Received: 05.10.2020, Kabul / Accepted: 02.11.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

İstatistik,
Zaman Serileri,
Box-Jenkins Model,
Dalgacık Dönüşüm

Özet: Zaman serisi analizi, finans, ekonomi, istatistik, mühendislik gibi birçok alanda gelecekle ilgili karar verme olanağı sunduğu için oldukça önemlidir. Zaman serisi analizinde otoregresif model, hareketli ortalama modeli ve otoregresif hareketli ortalama modelini kapsayan Box-Jenkins modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu modellerden elde edilen tahmin sonuçlarının güvenilir olabilmesi için, serinin durağan olması, gürültülü veri içermemesi ve trend ya da mevsimsel hareket bileşenlerinden arındırılmış olması gerekir ki özellikle finansal zaman serilerinde bu oldukça güçtür. Bu problemin üstesinden gelmek amacıyla, son zamanlarda veri ön işleme adımında dalgacık dönüşümü (DD) kullanılmaktadır. DD, zaman serisinin uzun dönemli trend ve varyasyon şeklinde iki bileşene ayrılmasına dayanır. Böylece zaman serisinin her bir bileşeni için ayrı bir tahmin modeli elde edilmesi ve davranışının daha doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlar. Bu çalışmada Kişi Başına Elektrik Tüketiminin (KBET) DD ile tahmin edilmesi ve tahmin sonuçlarının geleneksel modeller ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak 26 farklı ülkenin 1960-2014 yıllarını kapsayan KBET verileri kullanılmıştır. Performans karşılaştırmaları için R^2 , Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (HKOK) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH) kriterleri kullanılmıştır. Bu karşılaştırma kriterlerine göre dalgacık dönüşümüne dayalı tahmin performansının daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Forecasting of Per Capita Consumption of Electricity Based on Wavelet Decomposition

Keywords

Statistic,
Time Series,
Box-Jenkins Models,
Wavelet Decomposition

Abstract: Time series analysis is essential and takes a critical role in the areas such as finance, economics, statistic and engineering since it provides the opportunity of making decisions about the future. In time series analysis, Autoregressive (AR) models, Moving Average (MA) models, and Box-Jenkins, which includes Autoregressive Moving Average (ARMA) models, are widely used. However, in order: for the predicted results to be reliable from these models, the series must be stationary, has no noisy data and must be detrended or has no seasonality, which is particularly problematic in financial time series. Wavelet transform (WT), which is based on the separation of time series into two components which are long-term trend and variation, has been recently used in the data preprocessing step in order to overcome that kind of problem. Thus, it provides a separate estimation model for each component of the time series and provides a more accurate estimation of its behavior. In this study, it is aimed to estimate Electricity Consumption per Capita (kWh per capita) by WT and compare the results with the traditional models. For this purpose, kWh per capita data covering the period of 1960 and 2014 of 26 different countries are used. R^2 , Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) criteria are used for performance comparison. According to these comparison criteria, it is observed that the performance of the prediction based on wavelet transform is better.

*İlgili yazar: aytac0803@mu.edu.tr

1. Giriş

Zaman serisi analizi, finans, ekonomi, fen bilimleri, mühendislik gibi birçok bilim dalında geniş uygulama alanı bulmaktadır. Zaman serisi analizi, genel olarak ilgilenilen bir değişkenin geçmiş değerlerine dayanarak, gelecekte alabileceği değerleri tahmin etmek amacıyla bir model geliştirme işlemidir. Doğrusal regresyon analizi, otoregresif model (AR), hareketli ortalama modeli (MA) ve otoregresif hareketli ortalama modeli (ARMA) bu amaca yönelik olarak kullanılan en popüler istatistiksel modellerdir [1]. Ancak bu modellerin uygulanabilmesi için zaman serisinin trend ve mevsimsel hareket etkisinden arındırılmış olması ve gürültülü veri içermemesi gerekmektedir. Aksi takdirde elde edilen tahmin sonuçları, zaman serisinin gerçek davranışını yansıtmayacaktır. Bu problemin üstesinden gelmek amacıyla veri ön işleme adımında, zaman serisi analizi, temel bileşenler analizi, Fourier ve DD gibi çeşitli teknikler uygulanmaktadır [1]. Ancak dönüştürülmüş seride zaman bilgisinin kaybolmaması, seriyi hem zaman hem de frekans uzayında etkili bir şekilde temsil etmesi DD'yi daha popüler hale getirmektedir. Bunun dışında, DD gürültülü veri filtrelemede de yaygın olarak kullanılan matematiksel araçlardan biridir.

DD'e dayalı tahmin yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen birkaç çalışma şu şekilde özetlenebilir. Aggarwal vd. [13] Ontario elektrik piyasasındaki elektrik ücretini tahmin etmek amacıyla DD'e dayanan yapay sinir ağları modelini önermiştir. Önerilen modelden elde edilen tahminler, sezgisel bir teknik, Ontario Bağımsız Elektrik Sistem Operatörü kullanılarak simule edilen bir model, çoklu doğrusal regresyon, geleneksel yapay sinir ağları, bütünlük ARMA (ARIMA), dinamik regresyon modeli ve transfer fonksiyon modelinden elde edilen tahminler ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda önerilen yöntemden elde edilen tahmin sonuçlarının daha başarılı olduğu görülmüştür. Aggrawal vd. [14] ayrıca Avustralya elektrik piyasasındaki elektrik ücretlerini tahmin etmek amacıyla çoklu doğrusal regresyon ile DD'ü birleştiren yeni bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntemin performansı, analitik model, geleneksel çoklu regresyon modeli ve yapay sinir ağları ile karşılaştırılmış ve tahmin sonuçlarının iyileştiği görülmüştür.

Rocha vd. [1] DD'e dayalı yapay sinir ağları modelini akut düşük tansiyonlu epizotların tahminine uygulamıştır. An vd. [15] rüzgar santral gücünü tahmin etmek amacıyla DD ile kaotik zaman serileri ve GM(1,1) yöntemini birleştiren yeni bir yöntem önermiş ve önerilen yöntemin tahmin sonuçlarını iyileştirdiğini tespit etmiştir. Karthikeyan ve Kumar [9] çalışmasında aylık akarsu hacmi ve aylık yağış miktarını tahmin etmek amacıyla dalgacık ve deneysel mod dönüşümüne dayanan zaman serisi analizi kullanmıştır. Çalışma sonucunda DD'e dayanan zaman serisi analizinin tahmin kapasitesinin daha iyi gözlenmiştir. Son olarak, Doucore vd. [10] yenilebilir enerji kaynaklarının

tahmini için DD ve yapay sinir ağlarına dayanan yeni bir yöntem önermiştir.

Bu çalışmada 26 OECD ülkesinin Kişi Başına Elektrik Tüketimi (KBET) zaman serisini modellemek amacıyla DD'e dayanan ARIMA modelleri kullanılmıştır. Bu alanda yapılmış ilk çalışmadır. Kullanılan modellerin performansını doğrulamak amacıyla, bu yöntemden elde edilen tahmin sonuçları geleneksel ARIMA modelleri ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Dalgacık Dönüşümüne Dayalı Box-Jenkins Modelleri

Zaman serisi, genellikle gün, ay, yıl gibi düzenli aralıklarla ölçülen belirli bir değişkene ait seri şeklinde tanımlanabilir. Zaman serisi analizi matematiksel olarak, $Y = y_1, y_2, \dots, y_n$ şeklindeki serinin davranışının modellenmesi ve elde edilen model kullanılarak serinin gelecek değerlerinin ($y_{n+1}, y_{n+2}, \dots, y_{n+a}$) tahmin edilmesidir. Modelleme kısmında literatürde kullanılan çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmanın ana konusu, zaman serisinin istatistiksel olarak modellenmesinde yaygın olarak kullanılan ARIMA modelleri olarak bilinen Box-Jenkins [11] yöntemidir. Bu yöntemde temel prensip, zaman serisi ile onun geçmiş değerleri ve (veya) olasılıksal hata terimi arasında doğrusal bir ilişki tespit etmektir. Ancak bu yöntemin uygulanabilmesi için zaman serisinin birtakım varsayımları sağlaması gerekir. Bu varsayımların başında durağanlık gelmektedir. Durağanlık genel olarak zaman serisinin ortalama, varyans ve kovaryansının zamanının bir fonksiyonu olmaması, bir başka deyişle, zaman içinde değişmemesi şeklinde tanımlanabilir. Ancak özellikle ekonometrik zaman serileri durağan olmayan bir davranış sergiler. Bunun dışında, tahmin işlemi zorlaştıran aykırı veya gürültülü gözlemler de içerebilmektedir. Bu tür zaman serilerini istatistiksel yöntemler ile analiz edebilmek için zaman serisine bir takım ön işleme işlemleri uygulanır. DD bu amaca yönelik olarak kullanılan yöntemlerden biridir.

DD kısaca, zaman serisinin ardışık olarak yaklaştırma ve detay şeklinde iki farklı bileşene ayrıştırılması işlemidir. DD'nin istatistiksel zaman serisi analizinde kullanılmasının avantajları aşağıdaki gibidir:

- DD, zaman serisinin hem zaman uzayında hem de frekans uzayında temsil edilmesini sağlar. Bu nedenle dönüşüm işlemi sonrasında zaman bilgisi kaybolmaz.
- DD sonucunda, ortalama, varyans ve kovaryansı daha stabil seriler elde edilir.
- DD, gürültülü ve aykırı gözlemlerin olumsuz etkilerinin azaltılmasını sağlar.
- DD sonucunda elde edilen serilerin her biri zaman serisinin farklı bir davranışını içerir. Böylece zaman serisinin her bir davranışı için ayrı bir model tahmin edilir ve zaman serisinin davranışı daha iyi temsil edilir.

DD'e göre bir zaman serisi aşağıdaki eşitliklerde verildiği gibi yazılabilir:

$$y(t) = \sum_{k=1}^n a_{j,k} \varphi_{j,k}(t) + \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^n d_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad (1)$$

$$y(t) = A_s(t) + \sum_{j=1}^s D_j(t) \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Eşitliklerde $\varphi_{j,k}(t)$ ölçek fonksiyonunu, $\psi_{j,k}(t)$ dalgacık fonksiyonunu, j ölçek, k dönüşüm parametresini, s ayrıştırma seviyesini, $a_{j,k}$ ve $d_{j,k}$ sırasıyla j . ölçek k . lokasyondaki yaklaştırma ve detay katsayısını, n zaman serisi uzunluğunu, A_s ve D_j sırasıyla s . ayrıştırma seviyesindeki yaklaştırma ve detay serilerini göstermektedir. Burada dalgacık ve ölçek fonksiyonları ise aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} \varphi(2^{-j}t - k) \quad (3)$$

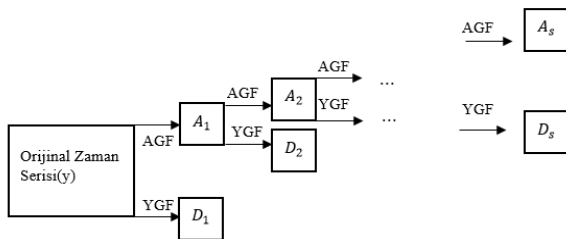
$$\psi_{j,k}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} \psi(2^{-j}t - k) \quad (4)$$

DD için yaklaştırma ($a_{j,k}$) ve detay ($d_{j,k}$) katsayılarının hesaplanması gerekir. Bunun için aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır:

$$a_{j,k} = \int y(t) \varphi_{j,k}(t) dt \quad (5)$$

$$d_{j,k} = \int y(t) \psi_{j,k}(t) dt \quad (6)$$

Eşitlik (5) ve (6)'daki katsayıları hesaplamak amacıyla literatürde genellikle Mallat [12] algoritması kullanılır. Mallat algoritmasına göre, yaklaştırma ve detay katsayıları, ölçek fonksiyon tarafından üretilen alçak geçişli filtre (AGF) ve dalgacık fonksiyonu tarafından üretilen yüksek geçişli filtre (YGF) kullanılarak hesaplanabilir. Mallat algoritmasının genel işleyişi Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Mallat Algoritması [12].

Şekil 1'deki Mallat algoritmasına göre, orijinal zaman serisi ilk olarak AGF ve YGF kullanılarak A_1 ve D_1 şeklinde iki bileşene ayrılır. Bir sonraki ayrıştırma seviyesinde, A_1 bileşeni tekrar A_2 ve D_2 şeklinde iki bileşene ayrılır. Bu işlem istenilen ayrıştırma seviyesine ulaşıncaya kadar devam eder. İşlem sonucunda s tane detay bir tane yaklaştırma serisi elde edilir.

DD'ye dayalı Box-Jenkins yönteminde bundan sonraki aşama elde edilen her bir seri için bir model tahmin etmektir. Dönüştürülmüş seriler için Box-Jenkins [11] modellerinin genel formu aşağıdaki gibidir:

$$A_{st} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{p_1} \beta_i A_{st-i} + \sum_{j=1}^{q_1} \tau_j \varepsilon_{st-j} + \varepsilon_{st-j} \quad (7)$$

$$D_{kt} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{p_2} \beta_i D_{kt-i} + \sum_{j=1}^{q_2} \tau_j \varepsilon_{kt-j} + \varepsilon_{kt-j} \quad (8)$$

Burada p_1 ve p_2 modelin otoregresif kısmın derecesini, q_1 ve q_2 hareketli ortalama kısmının derecesini, ε_{st-j} ise 0 ortalama sabit varyansla normal dağılan hata terimini göstermektedir. Eşitliklerde verilen modelleri tahmin etmek için ise birtakım adımların izlenmesi gerekmektedir. Bunların başında önceden de belirtildiği gibi durağanlık sınaması gelmektedir. Sınama sonucunda serinin durağan olduğuna karar verilirse bir sonraki adıma geçilir. Aksi takdirde serinin durağanlaşmıyacağı kadar farkı alınır. Durağanlık sınamasından sonra sırasıyla p ve q derecelerinin belirlenmesi, modelin tahmin edilmesi, modelin ve katsayılarının anlamlılığının sınanması, elde edilen hata terimlerinin normal dağılıp dağılmadığının test edilmesi gibi adımlar izlenir. Belirtilen adımlar izlendikten sonra gerçek tahmin değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$\hat{y}(t) = \hat{A}_s(t) + \sum_{j=1}^s \hat{D}_j(t) \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Burada \hat{A}_s yaklaştırma serisinin tahmin değerini, \hat{D}_j ise detay serilerinin tahmin değerlerini göstermektedir.

3. Bulgular

Bu çalışmada 1960-2014 yıllarını kapsayan 26 ülkenin KBET tüketiminin DD'ye dayalı ve geleneksel Box-Jenkins modelleri ile elde edilen tahmin sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. KBET verileri dünya bankasının web sitesinden elde edilmiştir. Karşılaştırma kriteri olarak aşağıdaki gibi hesaplanan HKOK ve R^2 kriterleri kullanılmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y}_t)^2} \quad (10)$$

$$HKOK = \sqrt{\sum_{t=1}^n e_t^2 / n} \quad (11)$$

$$OMYH = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t / \bar{y}_t|}{n} \cdot 100 \quad (12)$$

3.1. Uygulama

Bu çalışmada ilk olarak incelenen KBET değişkenlerinin logaritması alınmıştır. Logaritmik serilerle çalışmak serilerin özelliklerini daha iyi incelemek, varyansı dengelemek ve serilerdeki aykırı gözlemlerin etkilerini azaltmak açısından daha çok tercih edilmektedir. DD'ye dayalı yapılan ARMA modelleri tahmini ile geleneksel Box-Jenkins modellerle elde edilen tahmin R², HKOK ve OMYH kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Her bir ülkenin ilgili serisine ait en uygun modelin belirlenme aşamasından önce serinin durağanlık seviyesi saptanmıştır. Eğer seri durağan değilse farkı alınarak durağanlaştırılmıştır. Her bir ülke için model için gerekli varsayımlara ve Bilgi kriterlerine göre karşılaştırarak en uygun model belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında orijinal verilere daha sonra DD yapılarak elde edilen iki seriye de işlemler farklı farklı uygulanarak her bir ülkeye ait serilerin düzeyde durağan oldukları saptanmış ve belirlenen en uygun modeller Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. İncelenen serilerin en uygun model yapısı

Ülke	Geleneksel Box-Jenkins	Yaklaşırma Dalgacık	Detay Dalgacık
ABD	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
Almanya	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
Avustralya	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
Avusturya	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
Belçika	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
Birleşik Krallık	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
Danimarka	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
Finlandiya	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
Fransa	ARMA(1,2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
Hollanda	ARMA(2,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
İrlanda	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
İspanya	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
İsveç	ARMA(1,1)	AR(1)	ARMA(1,1)
İsviçre	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	AR(1)
İtalya	ARMA(1,1)	AR(1)	ARMA(1,1)
İzlanda	MA(1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)
Japonya	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
Kanada	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	MA(1)
Lüksemburg	ARMA(1,1)	AR(2)	MA(1)
Kuzey Amerika	ARMA(1,1)	ARMA(2,1)	ARMA(1,1)
Norveç	ARMA(1,2)	ARMA(1,1)	MA(1)
Polonya	ARMA(1,2)	ARMA(1,1)	MA(1)
Portekiz	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
Türkiye	MA(1)	ARMA(1,1)	MA(1)
Yeni Zelanda	ARMA(2,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)
Yunanistan	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)	ARMA(1,1)

Tablo 1 incelendiğinde 26 OECD ülkesi arasından aynı model yapısına sahip ve gerekli varsayımları sağlayan 13 ülke (ABD, Almanya, Avustralya, Avusturya, Belçika, Birleşik Krallık, Danimarka, Finlandiya, İrlanda, İspanya, Japonya, Portekiz ve Yunanistan) belirlenmiştir. Diğer ülkelerin aynı model yapısına sahip olmadığı ve varsayımlardan bazılarını da

sağlamadığı görülmüştür. Ayrıca aynı model yapısına ait ülkelerin tamamına bakıldığında model yapılarının ARMA(1,1) olduğu görülmüştür. Bu 13 ülkenin en uygun modeline göre geleneksel ve Dalgacık Box - Jenkins tahminleri elde edilerek her bir ülke için performans karşılaştırma kriter sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Performans karşılaştırma kriter sonuçları

Ülke	Geleneksel Box - Jenkins			Dalgacık Box - Jenkins		
	R ²	HKOK	OMYH	R ²	HKOK	OMYH
ABD	0,801	3456,6	0,297	0,985	439,9	0,040
Almanya	0,655	2540,9	0,398	0,942	425,8	0,087
Avustralya	0,845	3210,5	0,378	0,987	408,8	0,055
Avusturya	0,930	1633,9	0,263	0,995	178,6	0,034
Belçika	0,833	2589,5	0,381	0,978	391,1	0,061
Birleşik Krallık	0,730	1581,1	0,295	0,892	334,7	0,051
Danimarka	0,970	384,4	0,078	0,971	315,5	0,063
Finlandiya	0,810	5828,7	0,468	0,983	937,5	0,084
İrlanda	0,865	1990,6	0,456	0,958	413,6	0,083
İspanya	0,868	2089,9	0,519	0,962	357,9	0,089
Japonya	0,788	3127,7	0,478	0,974	2302	0,324
Portekiz	0,984	298,3	0,095	0,985	275,9	0,084
Yunanistan	0,854	2393,6	0,656	0,977	275,9	0,090

Tablo 2'deki R² performans karşılaştırma kriterine göre ülkelerin hepsinde Dalgacık Box-Jenkins R² değerinin daha yüksek olduğu ve elde edilen modelde bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni daha iyi temsil ettiği görülmüştür. Aynı şekilde HKOK ve OMYH performans karşılaştırma kriterlerine göre ülkelerin hepsinde Dalgacık Box-Jenkins HKOK değerinin çok daha düşük olduğu ve modelden elde edilen hataların küçük olduğu görülmüştür. Buradan yola çıkarak geleneksel ve dalgacık Box-Jenkins için en yüksek ve en düşük R² ile hata değerini veren ülkelere ait model denklemleri aşağıdaki gibidir.

Geleneksel Box-Jenkins model:

En yüksek R² ve En düşük hata (Portekiz):

$$\hat{Y}_t = 0,036 + 0,849Y_{t-1} + 0,988e_{t-1} + u_t$$

En düşük R² (Almanya):

$$\hat{Y}_t = 0,027 + 0,591Y_{t-1} + 0,978e_{t-1} + u_t$$

En yüksek hata (Finlandiya):

$$\hat{Y}_t = 0,039 + 0,625Y_{t-1} + 0,999e_{t-1} + u_t$$

Dalgacık Box-Jenkins model:

En yüksek R² ve En düşük hata (Avusturya):

$$\hat{Y}_t = 0,027 + 0,562Y_{t-1} + 0,969e_{t-1} + u_t$$

En düşük R² (Birleşik Krallık):

$$\hat{Y}_t = 0,673Y_{t-1} + 0,947e_{t-1} + u_t$$

En yüksek hata (Finlandiya):

$$\hat{Y}_t = 0,955Y_{t-1} - 0,971e_{t-1} + u_t$$

4. Tartışma ve Sonuç

1960-2014 yılları arasında 26 OECD ülkesi arasından aynı model özelliklerine sahip olmayan ve gerekli varsayımları sağlayamayan 13 ülke analizden çıkartılmıştır. Geriye kalan 13 OECD ülkesinin KBET verileri incelendiğinde karşılaştırma kriterlerine göre DD'ye dayalı tahmin performansının geleneksel yöntemden çok daha iyi olduğu gözlenmiştir. Bunun sonucu bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni daha iyi temsil ettiği, modelden elde edilen hataların minimum ve geleceğe yönelik yapılacak öngörünün daha tutarlı olduğu söylenmiştir.

Her iki yonteme ait R^2 kriteri karşılaştırıldığında bazı ülkelerde (Almanya, Birleşik Krallık, ABD ve Japonya) tahmin performansı arasında çok büyük farklılıklar, bazı ülkelerde ise (Danimarka ve Portekiz) tahmin performansının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

HKOK kriteri karşılaştırıldığında bazı ülkelerde (Avusturya, Yunanistan, ABD ve Avustralya) tahmin performansı arasında çok büyük farklılıklar, bazı ülkelerde ise (Danimarka ve Portekiz) tahmin performansının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

OMYH kriteri karşılaştırıldığında bazı ülkelerde (ABD, Avusturya ve Yunanistan) tahmin performansı arasında çok büyük farklılıklar, bazı ülkelerde ise (Danimarka ve Portekiz) tahmin performansının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Rocha T., Paredes S., Carvalho P., Henriques J., Harris M. 2010. Wavelet based time series forecast with application to acute hypotensive episodes prediction, 32nd Annual International, Conference of IEEE EMBS, August 31-September, Buenos Alres, Argentina, 2403-2406.
- [2] Hiden, H., Willis, M., Tham, M., Montague, G. 1999. Non-linear principal components analysis using genetic programming, Computers and Chemical Engineering, 23, 413-425.
- [3] Schoukens, J., Pintelon, R. 1991. Identification of Linear Systems: a Practical Guideline to Accurate Modeling, Pergamon Press, London, 332s.

- [4] Yao, S., Song, Y., Zhang, L., Cheng, X. 2000. Wavelet transform and neural networks for short-term electrical load, Energy Conversion and Management, 41, 1975-1988.
- [5] Chong T. 2009. Financial Time Series Forecasting Using Improved Wavelet Neural Network, Master's Thesis, 113s.
- [6] Ng, K. Y., Awang, N. 2018. Multiple linear regression and regression with time series error models in forecasting PM10 concentrations in Peninsular Malaysia. Environmental monitoring and assessment, 190(2), 63.
- [7] Bhardwaj, S., Chandrasekhar, E., Padiyar, P., Gadre, V.M. 2020. A comparative study of wavelet-based ANN and classical techniques for geophysical time-series forecasting. Computers & Geosciences, 138, 104461.
- [8] Khan, M.M.H., Muhammad, N.S., El-Shafe, A. 2020. Wavelet based hybrid ANN-ARIMA models for meteorological drought forecasting. Journal of Hydrology, 590, 125380.
- [9] Karthikeyan L., Kumar D.N. 2013. Predictability of nonstationary time series using wavelet and EMD based ARMA models, Journal of Hydrology, 502, 103-119.
- [10] Doucoure B., Agbossou K., Cardenas A. 2016. Time series prediction using artificial wavelet neural network and multi-resolution analysis: Application to wind speed data, Renewable Energy, 92, 202-211.
- [11] Box G.E.P., Jenkins G.M. 1970. Time Series Analysis Forecasting and Control Holden-Day, San Francisco, USA, 553s.
- [12] Mallat S. 1999. A wavelet tour of signal processing, Academic Press, London, UK, 832s.
- [13] Aggarwal S. K., Saini L.M., Kumar A., 2008. Electricity price forecasting in Ontario electricity market using wavelet transform in artificial neural network-based model, International Journal of Control, Automation, and Systems, 6(5), 639-650.
- [14] Aggarwal S. K., Saini L. M., Kumar A. 2008. Price forecasting using wavelet transform and LSE based mixed model in Australian electricity market, International Journal of Energy Sector Management, 2(4), 521-546.
- [15] An X., Jiang D., Liu C., Zhao M. 2011. Wind farm power prediction based on wavelet decomposition and chaotic time series, Expert Systems with Applications, 38(9), 11280-11285.

Fonksiyonellendirilmiş Alümina ve Silika Katkılı Kevlar-Cam Elyaf/Epoksi Reçineli Hibrit Kompozitlerin Cam ve Kevlar Yüzeylerine Uygulanan Darbe Enerjilerinin Darbe Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi

Ayşe ÖNDÜRÜCÜ¹, Gökhan CAN²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

²Isparta Belediye Başkanlığı, Fen İşleri Müdürlüğü, 32200, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 25.10.2019, Kabul / Accepted: 01.11.2020, Online Yayınlanma/ Published Online: 20.12.2020)

Anahtar Kelimeler

Cam elyaf,
Kevlar,
Alümina,
Silika,
Darbe davranışı,
Hibritkompozit

Özet: Tüm kompozitler kullanım yerlerine göre çeşitli darbelere maruz kalabilirler. Darbe sonrası malzemede oluşan hasar; darbe enerjisine, kullanılan katkı malzemesi ve oranlarına, vuruca uç özelliklerine ve darbenin uygulandığı yüzey gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, alümina ve silika katkı kevlara-cam elyaf/epoksi hibrit kompozit plakalarının kevlara ve cam elyaf yüzeylerine uygulanan darbeler neticesinde kompozitte oluşan darbe davranışları oda sıcaklığında deneysel olarak incelenmiştir. Darbe deneyleri için 220mm x 330mm boyutlarında farklı oranlarda alümina ve silika katkı 12 tabakalı kevlara-cam elyaf/epoksi hibrit kompozit üretimi yapılmıştır. Kompozitler alümina ve silika oranlarına göre 4 ayrı gruba (A0S0, A0S5, A2S3, A5S0) ayrılarak, herbir numuneye 60J darbe enerjisi uygulanmıştır. Her grup kompozit için numunelerin kevlara ve cam elyaf yüzeylerine 60J'lük darbe enerjisi ile darbe testi uygulanarak farklı yüzeylere uygulanan darbe testlerinin darbe davranışı üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda bütün kompozit grupları için; darbe uygulanan üst yüzeyin kevlara olması halinde oluşan maksimum kuvvet değerlerinin, üst yüzeyi cam elyaf olan numunelerin maksimum kuvvet değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Investigation of Effect on Impact Behaviour of Impact Energies Applied on Glass and Kevlar Surfaces of Functionalized Alumina and Silica Additive Kevlar-Glass Fiber/Epoxy Resin Hybrid Composites

Keywords

Glass fiber,
Kevlar,
Alumina,
Silica,
Impact behavior,
Hybrid composite

Abstract: Composite materials can be subjected to various impact types depending on their application. Depending on the impact energy, additive material and its ratio with resin, strike probe and impact surface etc., composite material shows various types of damages. In this study, the impact behavior of kevlara-glass fabric penetrated epoxy resin hybrid composite specimens which contains various ratio of alumina and silica were investigated experimentally at room temperature. For impact tests, 12 layer kevlara-glass fiber/epoxy hybrid composite with 220mm x 330mm dimensions, alumina and silica added were produced. Rely on additive ratio of silica and alumina, 4 group samples, which is labeled as A0S0, A0S5, A2S3, A5S0, was selected for determining the impact behaviour at different silica and alumina ratio under 60J impact energy. For each group of composites, impact tests were applied to the surfaces of kevlara and glass fiber surfaces with a 60J impact energy impact test on the impact behavior of the samples. At the end of the study, for all composite groups; it was seen that the maximum force values formed when the impacted top surface was kevlara were higher than the maximum strength values of the samples with top surface glass fiber.

*İlgili yazar: ayseondurucu@sdu.edu.tr

1. Giriş

Kompozitler uygulama alanlarındaki kullanımları sırasında darbelere maruz kalabilirler. Örneğin askeri uçak gövdesine çarpan bir mermi ya da bir arabadaki kompozit yaprak yayın stabilize bir yolda taşınması gibi durumlarda tabakalı kompozitlerin darbelere karşı göstermiş oldukları dirençler büyük önem arz eder. Kompozitlerin darbe dayanımı; malzeme sistemi, tabakalar arası mukavemet, diziliş sırası gibi malzemeye ait faktörlerin yanısıra çarpan cismin hızı, kütlesi, boyutu gibi darbenin yapısına ait faktörlere de bağlıdır. Darbe, tabakalı kompozitin mukavemetini azaltmakla beraber tabakalar arasında da ayrılmaların (delaminasyonların) başlamasına neden olur. Delaminasyon gözle görülemediği için durum daha da sorunlu bir hal alır [1]. Bu nedenle kompozitlerin kullanım yerinde maruz kalabileceği yük ve etkileri karşılayabilecek nitelikte üretilmesi gerekir. Kompozit yapılar üzerine yabancı nesnelere darbesi neticesinde yapıda iç hasar oluşması çok büyük bir oranda yapının mukavemetini azaltmaktadır. Bu tip darbeleri incelerken olayın dinamiğinin, sebep olunan hasarın büyüklüğünün ve yapının özelliklerinin tahmininin iyi anlaşılması gerekmektedir [2]. Bu amaçla tabakalı kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışları üzerine literatürde birçok çalışmalar yapılmıştır [3-7].

Yüksek mekanik özelliklerinden dolayı kompozit malzemelerin; uzay endüstrisinin yanında, gemi, havacılık, inşaat, makine, spor ve diğer alanlarda da isteğe göre tasarlanabilmesi için sürekli araştırmalar yapılmaktadır. Bu amaçla günümüzde yüksek mukavemetli ve darbe yüklerine karşı dirençleri yüksek olan hibrit kompozit malzemeler üretilmeye başlanmıştır. İki veya daha fazla farklı fiber takviyesinin aynı matris içinde bulunduğu kompozit malzeme grubu hibrit kompozit olarak adlandırılır. Valença vd. tarafından yapılan bir çalışmada, epoksi reçine matrisli kevlar kompoziti ile epoksi reçine matrisli cam/kevlar hibrit kompozitinin mekanik özellikleri araştırılmış ve epoksi ile güçlendirilmiş cam/kevlar hibrit kompozitlerin çekme mukavemeti, darbe enerjisi ve eğme mukavemetlerinin epoksi reçineli kevlar kompozitlere göre daha yüksek olduğu rapor edilmiştir [8].

Hibrit kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışları üzerine deneysel çalışmalar yapılmış ve analitik yöntemler geliştirilmiştir: Rafiq vd., ağırlıkça %0, %1,5 ve %3 oranında nanokil ilaveli cam elyaf takviyeli epoksi hibrit kompozitlerde nanokil ilavesinin darbe direncini nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Kompozit plakalara 10J ila 50J arasında değişen dört farklı darbe enerjisi uygulanmıştır. Nanokil ilaveli hibrit kompozitlerin nanokilsiz kompozitlere kıyasla daha iyi darbe dayanımı sergilediği rapor edilmiştir. Nanokil ilavesinin numunelerin rijitliğini arttırdığı bildirilmiştir. Ağırlıkça %3 oranında nanokil ilaveli

numunelerde maksimum yükteki iyileşmenin % 14 civarında olduğu rapor edilmiştir. Optimum özelliklerin ise maksimum yükte yaklaşık % 23 iyileşme ve rijitlikte % 11 artış ile ağırlıkça %1,5 oranında nanokil ilaveli hibrit kompozit numunelerde elde edildiği belirtilmiştir. Bunun yanı sıra darbe hasarının artan darbe enerjisi ile büyüdüğü ve hibrit nanokompozitlerde oluşan hasarın nanokilsiz kompozitlere nazaran daha küçük olduğu rapor edilmiştir [9]. Reis vd., kevlar fiber ve dolgu maddeli epoksi matrisli kompozitlerin darbe davranışını ve hasar toleransını incelemişlerdir. Çalışmada kompozitlerin darbe davranışını iyileştirmek için mantar tozu ve organik olarak modifiye edilmiş nanokil olmak üzere iki farklı dolgu maddesi kullanılmıştır. Kompozitin üretiminde daha homojen bir dağılım elde edilmesi ve matris ile nanokilin ara yüzeye iyi yapışmasının sağlanması amacıyla epoksi reçineye uygun özel bir işlem uygulanmıştır. Çalışma sonucunda ilave edilen dolgu maddelerinin maksimum darbe yükünü arttırdığı fakat deplasmanı azalttığı rapor edilmiştir. Nanokil ilavesi ile daha yüksek maksimum darbe yükleri ve daha düşük deplasmanlar sağlandığı belirtilmiştir [10]. Öner vd., dokuma cam kumaş ve epoksiden oluşan kompozite ağırlıkça değişik oranlarda (% 0,5, % 0,75, % 1 ve % 1,25) karbon nanotüp ilave ederek el yatırma yöntemi ile ASTM standartlarına uygun olarak ürettikleri kompozit numunelerin çekme, eğilme ve termomekanik yükleme etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Karbon nanotüp oranı %0,75'e kadar olan numunelerde çekme ve eğilme dayanımının arttığı belirtilmiştir. Dolayısıyla çekme ve eğilme dayanımları açısından en iyi sonuçların ağırlıkça % 0,5 ve % 0,75 karbon nanotüp ilaveli numunelerde görüldüğü rapor edilmiştir. Karbon nanotüpün homojen dağılmaması yani topaklanması nedeniyle bazı oranlarda karbon nanotüplü numunelerin çekme ve eğilme dayanımlarının katkısız numunelere oranla azaldığı gözlenmiştir [11]. Mahdi vd., nanopartikül ilavesinin karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin darbe davranışına etkilerini araştırmışlardır. Karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin darbe performanslarını artırmak amacıyla karbon nanotüp ve nanokilin ayrı ayrı dahil edilerek üretilen tabakalı kompozitler ile karbon nanotüp ve nanokilin aynı anda birlikte ilave edilerek üretilen tabakalı hibrit kompozitler karşılaştırılmıştır. Bu amaçla üretilen kompozitler ayrı ayrı 30J, 40J ve 50J enerji seviyelerinde darbe yüküne maruz bırakılarak nanotüp ve nanokilin birlikte kullanılması halinde darbe özelliklerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak karbon nanotüp ve nanokil ilavesinin karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin darbe özelliklerini iyileştirdiği ve hasar alanlarını azalttığı rapor edilmiştir. Bunun yanı sıra hibrit nanopartikül ile güçlendirilen kompozitlerin darbe davranışında, nanotüp ve nanokilin ayrı ayrı kullanıldığı kompozitlere nazaran önemli ölçüde iyileşme gözlemlendiği belirtilmiştir [12].

Sayman vd. tarafından, cam/epoksi, karbon/epoksi ve karbon/cam hibrit kompozitlerin sıcak ortam (90°C), soğuk ortam (-50°C) ve oda koşullarında tam delinme gerçekleşene kadar ağırlık düşürme darbe test cihazında darbe testleri yapılarak farklı ortam koşullarındaki darbe davranışları incelenmiştir. Enerji seviyesi sabit tutulup sıcaklık düşürüldüğünde matris kırılmalarının yoğunlaştığı, delaminasyon alanlarının ve alt tabakalardaki fiber matris ayrılmalarının büyüdüğü görülmüştür [13].

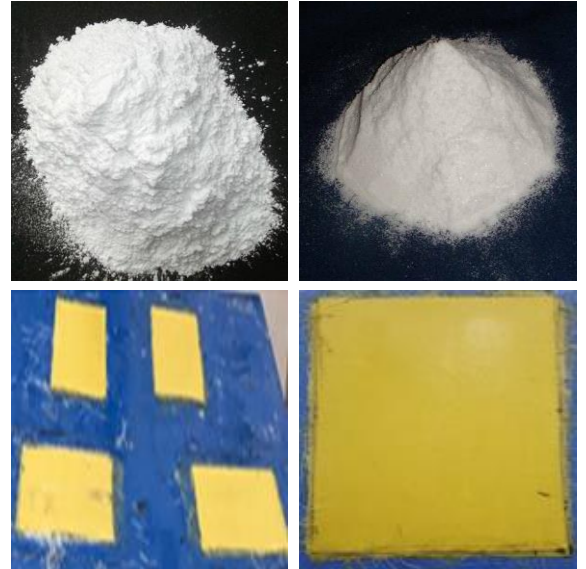
Hibrit kompozitlerde, kompozit malzemenin darbe davranışını önemli ölçüde etkileyen çok sayıda dizayn parametresi vardır. Bu parametrelerden başlıcaları istifleme dizilimi, kalınlık ve hibrit kompozitlerin geometrisidir. Bu parametrelerden istifleme diziliminin yani farklı elyaf kumaşların hibrit kompozitlerin darbe davranışının belirlenmesinde önemli rolü olduğu bilinmektedir. Park ve Jang tarafından yapılan çalışmada, ince tabakalı kompozitlerin darbe davranışı üzerine istifleme diziliminin etkisini araştırmak amacıyla aramid fiber/cam fiber takviyeli hibrit kompozitler üretilmiştir. Hibrit kompozitlerin darbe özellikleri üzerine aramid tabakanın tabakalı kompozitteki pozisyonunun etkisi araştırılmıştır. Aramid tabaka darbe uygulanan yüzeyde olduğu zaman kompozitin daha yüksek bir darbe enerjisi sergilediği rapor edilmiştir. Aramid elyaf ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin kalınlık değişimine göre farklı darbe davranışı gösterdikleri belirtilmiştir. Darbe davranışındaki bu farklılığın tabakalar arasındaki arayüzeyde meydana gelen absorbe edilen enerjinin elyaflara göre farklılık göstermesinden kaynaklı olacağı belirtilmiştir [14]. Park ve Jang tarafından yapılan başka bir çalışmada ise üç tabakalı aramid fiber/cam fiber hibrit kompozitlerin, tabaka dizilim sırasının ve yüzey davranışının düşük hızlı darbe sonrası bası performansı ve darbe sonrası artık bası mukavemetleri incelenmiştir. Darbe enerjisi arttıkça kompozitlerin artık mukavemetinin, delaminasyon alanının artmasından dolayı düştüğü rapor edilmiştir. Sonuç olarak, bası yükü altında aramid fiberli yüzeyin delaminasyon alanının ve delaminasyon başlama direncinin arttığı bildirilmiştir [15].

Bu çalışmada, düşük hızlı darbe deneyleri için farklı katkı oranlarında alümina ve silika katkı kevlar elyaf ve cam elyaf kumaş takviyeli epoksi reçineli tabakalı hibrit kompozit malzemeler üretilmiştir. Tabakalı hibrit kompozitlerin tasarımı, 3 tabaka kevlar, 1 tabaka cam elyaf kumaşın ardışık olarak üst üste sıralanmasıyla 12 tabakalı olacak şekilde yapılmıştır. Bu şekilde kompozitin bir yüzeyi kevlar diğer yüzeyi cam elyaftan oluşmuştur. Üretimi yapılan 4 farklı konfigürasyona sahip kompozitler için kevlar (aramid) ve cam elyaf yüzeylerine ayrı ayrı 60J darbe enerjisi uygulanarak fonksiyonellendirilmiş alümina ve silika katkı hibrit kompozitlerin farklı yüzeylerine uygulanan darbe enerjisinin kompozitin darbe davranışları üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Hibrit Kompozitlerin Üretimi

Deneyel çalışma için öncelikle Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında farklı oranlarda alümina ve silika içeren kevlar ve cam elyaf takviyeli epoksi reçineli 12 tabakalı hibrit kompozit plakalar üretilmiştir. Kompozitin üretiminde fiber malzeme olarak 300 gr/m³ yoğunluğa sahip tek yönlü cam kumaş ve 207 gr/m³ yoğunluğunda kevlar kumaş kullanılmıştır. Katkı maddesi olarak % 99,90 saflık ve 1µ boyutunda alümina ve % 99,85 saflık ve 1µ boyutunda silika kullanılmıştır. Reçine malzemesi olarak da BRTR Kimya marka BREPR101 epoksi ve sertleştirici kullanılmıştır. 100 gr epoksiye 60gr sertleştirici karıştırılarak reçine sistemi oluşturulmuştur. Ağırlıkça farklı konsantrasyonlarda alümina (Al₂O₃) ve silika (SiO₂) takviye edilerek hazırlanan epoksi reçine-sertleştirici karışımın homojen olarak karışması için mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Daha sonra el yatırma yöntemi ile elyaf kumaşların üzerlerine epoksi-sertleştirici karışımından oluşan reçine sistemi sürülerek kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir [16]. Kompozit plakalar, katmanlar arasındaki hava boşluklarının giderilmesi amacıyla 12 saat vakumlamaya tabi tutulmuştur. Şekil 1'de görülen alümina ve silika katkı maddeleri kullanılarak 4 farklı konsantrasyonda hibrit kompozit plaka üretilmiştir (Şekil 1). Tabakalı hibrit kompozitlerin tasarımı, 3 tabaka kevlar, 1 tabaka cam elyaf kumaşın ardışık olarak üst üste sıralanmasıyla 12 tabakalı olacak şekilde yapılmıştır.



Şekil 1. Üretimi yapılan alümina ve silika katkı hibrit kompozit plakalar.

Düşük hızlı darbe deneyi uygulanmak üzere 220mmx330mm boyutunda üretilen bu 12 tabakalı hibrit kompozit plakalardan LNC-M520H su jeti yardımıyla 100mmx100mm boyutunda deney numuneleri kesilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Hibrit kompozitlerin kesimi ve deney numunesi.

Üretimi yapılan kompozit malzemeler içerdiği katkı maddeleri oranlarına göre 4 ayrı gruba ayrılmıştır. 12 tabakalı olarak tasarlanan fonksiyonellendirilmiş alümina ve silika katkılı hibrit kompozit numunelerin alümina ve silika katkı oranları ve ortalama tabaka kalınlıkları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Hibrit kompozit numunelerinin gruplandırılması

Grup No	Katkı Oranı (%)	Adlandırma	Ortalama Tabaka Kalınlığı (mm)
1	%0 Alümina %0 Silika	A0S0	3,72
2	%0 Alümina %5 Silika	A0S5	3,72
3	%2 Alümina %3 Silika	A2S3	3,72
4	%5 Alümina %0 Silika	A5S0	3,72

A: Alümina, S: Silika

Tablo 1’den görüldüğü üzere; 1. grup A0S0 kompozitleri alümina ve silika içermemekte olup kontrol grubu olarak üretilmişlerdir. 2. grup A0S5 sadece silika, 4 grup A5S0 sadece alümina katkılı olarak üretilmiştir. 3. grup A2S3 konfigürasyonu ise hem alümina hem de silika içermektedir.

2.2. Hibrit Kompozitlerin Darbe Testleri

Hibrit kompozit numunelerin düşük hızlı darbe testleri Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde bulunan CEAST Fractovis Plus ağırlık düşürme test cihazında yapılmıştır (Şekil 3).



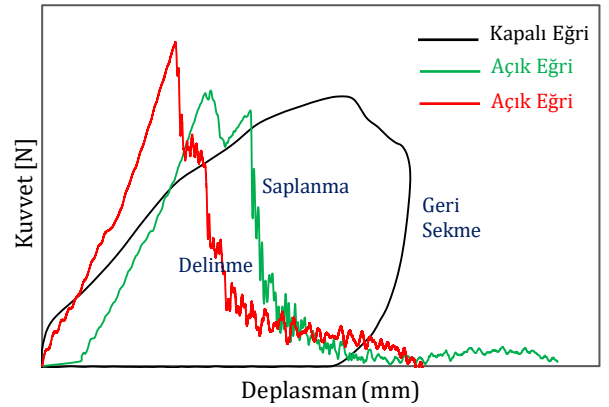
Şekil 3. Fractovis Plus darbe test cihazı.

Düşük hızlı darbe testleri oda sıcaklığında yapılmıştır. Testler sırasında kullanılan vurucu kütlesi 4.926 kilogramdır. Cihaz içerisindeki pnömomatik bir düzenek yardımıyla numunelerin ankastre sınır şartlarında darbe deneylerinin yapılması sağlanmıştır. Numuneler 60J’lük darbe enerji seviyesinde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Visual Impact adlı bir yazılımla donatılan cihaz, zamana bağlı olarak vurucu ile numune arasında meydana gelen temas kuvvetini, vurucunun hızını ve numunenin çökme miktarlarını vermektedir. Darbe enerjisine göre vurucunun numunelere ilk çarpma hızı 4,85 m/s’dir. Hibrit kompozitlerin darbe deneylerinde Şekil 4’te verilen ucu yarım küre şekline sahip 10 mm’lik vurucu uç kullanılmıştır.



Şekil 4. Darbe deneyinde kullanılan vurucu uç.

Darbe deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak çizilen kuvvet - yerdeğiştirme eğrilerine bakılarak darbe uygulanan numunede oluşan hasar modları hakkında fikir edinmek mümkündür. Darbe testleri sonucunda genellikle geri sekme (kapalı eğri), nüfuziyet (saplanma) ve delinme (açık eğri) olmak üzere üç hasar modu oluşur (Şekil 5).



Şekil 5. Kuvvet - yer değiştirme eğrileri.

Düşük enerjili darbe deneyi sonucunda elde edilen veriler kullanılarak çizilen kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinin parabolik bir eğri şekline sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5). Uygulanan darbe enerjisinin artmasıyla meydana gelen kuvvet de artmakta, saplanma ve delinme eğrilerinde görüldüğü üzere maksimum kuvvet değeri hemen hemen sabit bir değer olmaktadır. Numunede delinme meydana geldiğinde kuvvetin sıfır olması gerekir fakat vurucu ve numune arasındaki sürtünme nedeniyle eğrinin uç kısmı yatay eksene paralel şekilde ilerler.

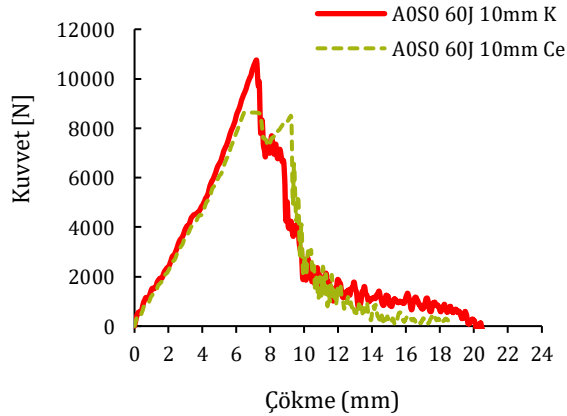
Şekil 5'den görüldüğü üzere artan darbe enerjisi altında oluşan eğriler kapalı tip ve açık tip eğri olmak üzere iki kısma ayrılır. Kapalı tip eğri vurucunun numuneye temas etmesinden sonra vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesiyle oluşan eğrilerdir. Yani uygulanan darbe enerjisinin büyük bir kısmı numune tarafından absorbe edilmiş, absorbe edilmeyen enerji de vurucunun geri sekmesi için kullanılmıştır. Eğer bir eğri açık tip ise vurucu numuneye ya saplanmış ya da numune delinmiştir. Buna göre numuneye saplanan vurucu numune kalınlığı boyunca aşağı doğru hareket eder ve artık numune yüzeyinden geri sekme meydana gelmez. Darbe enerjisi daha da arttırıldığında vurucu numuneye saplanır, numune kalınlığı boyunca hareket eder ve sonunda da numuneyi delerek alt yüzeyden çıkar yani delinme olayı gerçekleşmiş olur [16, 17].

3. Bulgular

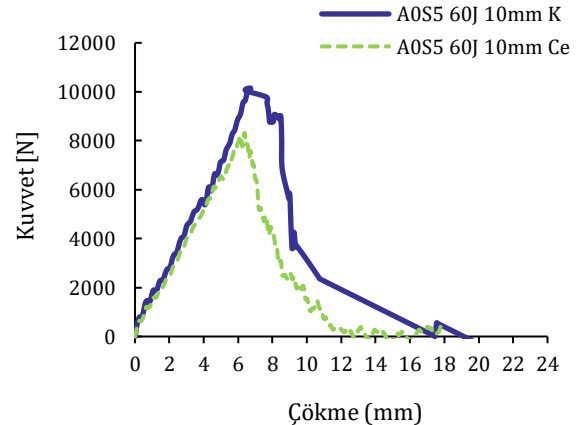
Darbe uygulanan yüzeydeki elyafın darbe dayanımına etkisinin araştırılması amacıyla üretilen hibrit kompozitler, 3 tabaka kevlar, 1 tabaka cam elyaf olacak şekilde ardışık olarak üst üste sıralanarak 12 tabaka olarak tasarlandığından kompozit numunelerin bir yüzeyi kevlar diğer yüzeyi cam elyaftan oluşmaktadır. Tablo 1'de verilen 4 grup hibrit konfigürasyonlarının her biri için numunelerin hem üst (kevlar elyaf) ve hem de alt (cam elyaf)

yüzeylerine ayrı ayrı 60J darbe enerjisi uygulanarak farklı (kevlar ve cam) yüzeylerin hibrit kompozitin darbe davranışını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu doğrultuda 60J darbe enerjisi uygulandıktan sonra elde edilen veriler doğrultusunda her bir hibrit kompozit konfigürasyonu için kuvvet-çökme eğrileri çizilmiştir (Şekil 6).

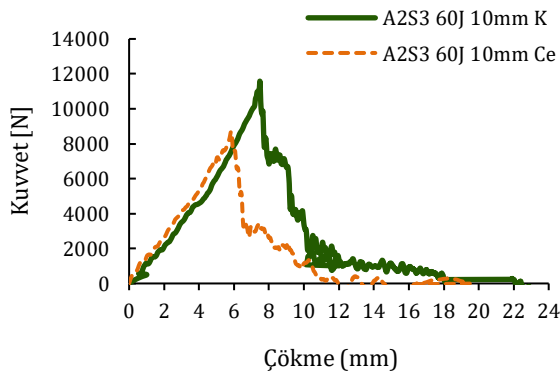
Grafiklerdeki "K" gösterimi kevlar'ı, "Ce" gösterimi ise cam elyafı ifade etmektedir. Şekil 6'da verilen kuvvet-çökme eğrilerinden, 60J darbe enerji değeri için tüm konfigürasyonlara ait kompozit numunelerinin darbe deneyleri sonucunda benzer darbe davranışı gösterdikleri görülmektedir. Grafiklerden her 4 konfigürasyon için de hem kevlar hem de cam elyaf yüzeyde açık tip eğri olduğu görülmektedir. Dolayısıyla tüm konfigürasyonlar için 60J darbe enerjisi altında kompozit numunelerde delinme meydana gelmiştir. Şekil 6'da verilen grafikler yardımıyla kevlar ve cam yüzeyler karşılaştırılacak olursa, tüm konfigürasyonlarda kevlar yüzeyin, cam elyaf yüzeye göre daha fazla maksimum kuvvet taşıdığı görülmektedir. Ayrıca kevlar (aramid) elyafın cam elyafa göre daha fazla enerji absorbe ettiği görülmektedir. Kevlar ve cam elyafın hibrit kompozitin darbe dayanımına etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi adına tüm konfigürasyonlar için kevlar ve cam elyaf yüzeylerde oluşan maksimum kuvvet değerleri Şekil 7'de sütun grafik olarak verilmiştir.



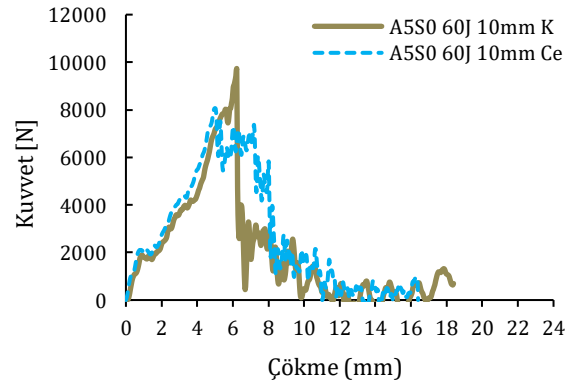
a) 1.grup (A0S0) numuneler için kuvvet - çökme eğrileri



b) 2.grup (A0S5) numuneler için kuvvet - çökme eğrileri

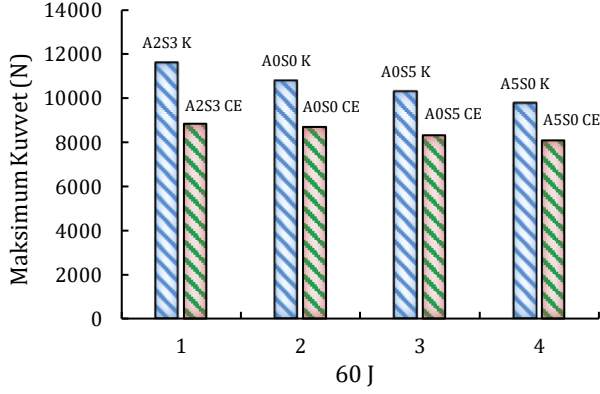


c) 3.grup (A2S3) numuneler için kuvvet-çökme eğrileri



d) 4.grup (A5S0) numuneler için kuvvet-çökme eğrileri

Şekil 6. 60J darbe enerjisi uygulanan 4.grup hibrit konfigürasyon numuneler için kuvvet - çökme (F-d) eğrileri.



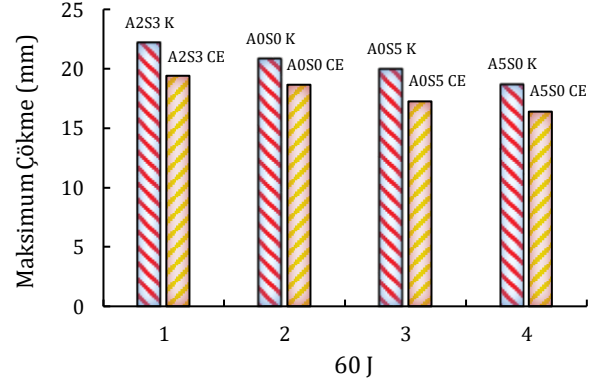
Şekil 7. Tüm gruplar için maksimum kuvvet-darbe enerjisi grafiği.

Şekil 7'den hem kevlar hem de cam elyaf yüzeyler için en yüksek maksimum kuvvet değerlerinin hem alümina hem de silika içeren 3. grup A2S3 konfigürasyonunda meydana geldiği görülmektedir. Grafik alümina ve silika katkıları açısından değerlendirildiğinde; hem alümina hem de silika içeren 3. grup A2S3 konfigürasyonunun maksimum kuvvet değerlerinin, kontrol grubu olan katkısız A0S0 konfigürasyonunun maksimum kuvvet değerlerinden daha yüksek olduğu görülürken, sadece alümina ve sadece silika içeren A0S5 ve A5S0 konfigürasyonlarının maksimum kuvvet değerlerinin kontrol grubu olan A0S0 konfigürasyonundan daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuç literatür ile de örtüşmektedir. Mahdi vd. tarafından yapılan çalışmada da benzer şekilde nanotüp ve nanokilin birlikte kullanıldığı hibrit kompozitlerin darbe davranışlarının, nanotüp ve nanokilin ayrı ayrı kullanıldığı kompozitlerin darbe davranışlarına nazaran daha iyi olduğu rapor edilmiştir [12].

Şekil 7'de verilen grafik ışığında kevlar ve cam yüzeylerin darbe dayanımları karşılaştırılacak olursa; tüm konfigürasyonlar için kevlar yüzeyde oluşan maksimum kuvvet değerlerinin cam yüzeyde oluşan maksimum kuvvet değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Kevlar yüzeyde oluşan maksimum kuvvet değerlerinin cam elyaf yüzeylerde oluşan maksimum kuvvet değerlerine göre artışı; A2S3 kompoziti için %30,97, A0S0 için %23,99, A0S5 için %23,18, A5S0 için %20,14'tür. Buradan hareketle; kevlar yüzeye darbe uygulanan kompozit numunelerin yük taşıma kapasitelerinin, cam elyaf yüzeye darbe uygulanan kompozit numunelere göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç literatür ile de uyum içindedir. Park ve Jang tarafından yapılan çalışmada, ince tabakaların darbe davranışı üzerine tabaka dizilim sırasının etkisini araştırmak amacıyla aramid fiber/cam fiber hibrit kompozitler üretilmiştir. Aramid tabakaya darbe uygulandığında kompozit daha yüksek bir darbe enerjisi göstermiştir. Bunun darbeye maruz ince tabaka yüzeylerinde daha yüksek deformasyon

meydana gelmesi ve tabaka ara yüzeylerinde farklı enerji absorbe edilmesinden kaynaklı olacağı belirtilmiştir [14].

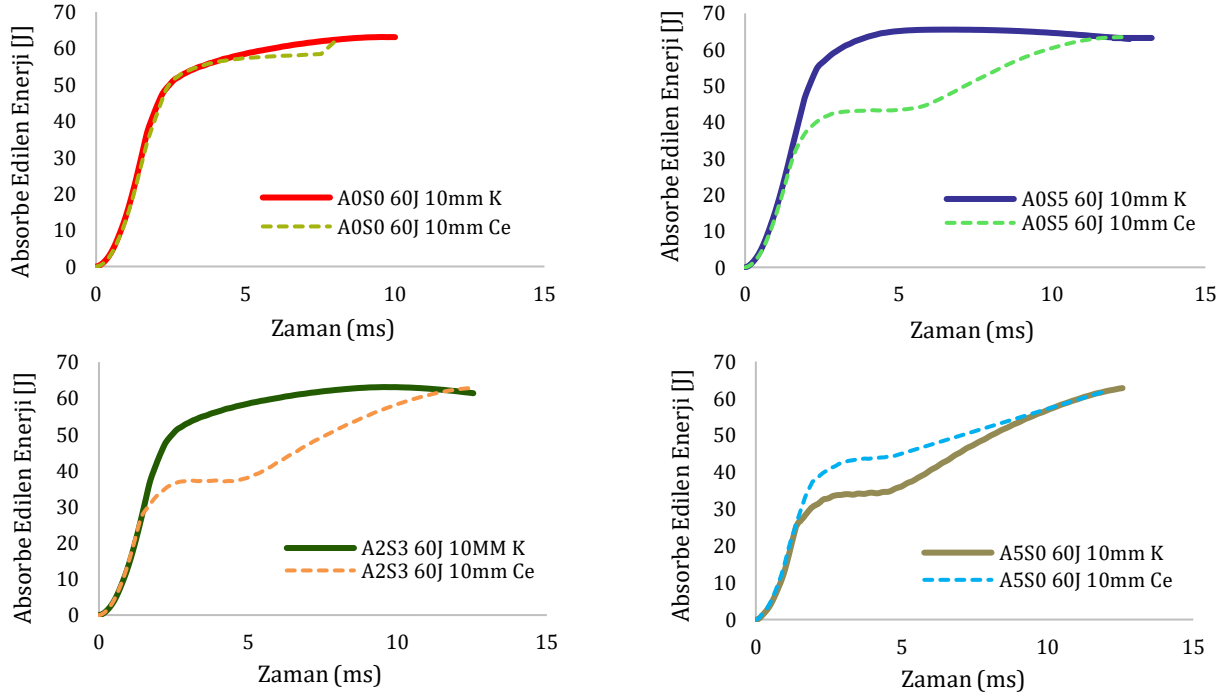
Şekil 8'de tüm hibrit kompozit konfigürasyonların kevlar ve cam elyaf yüzeylerinde oluşan maksimum çökme değerleri grafik olarak verilmiştir.



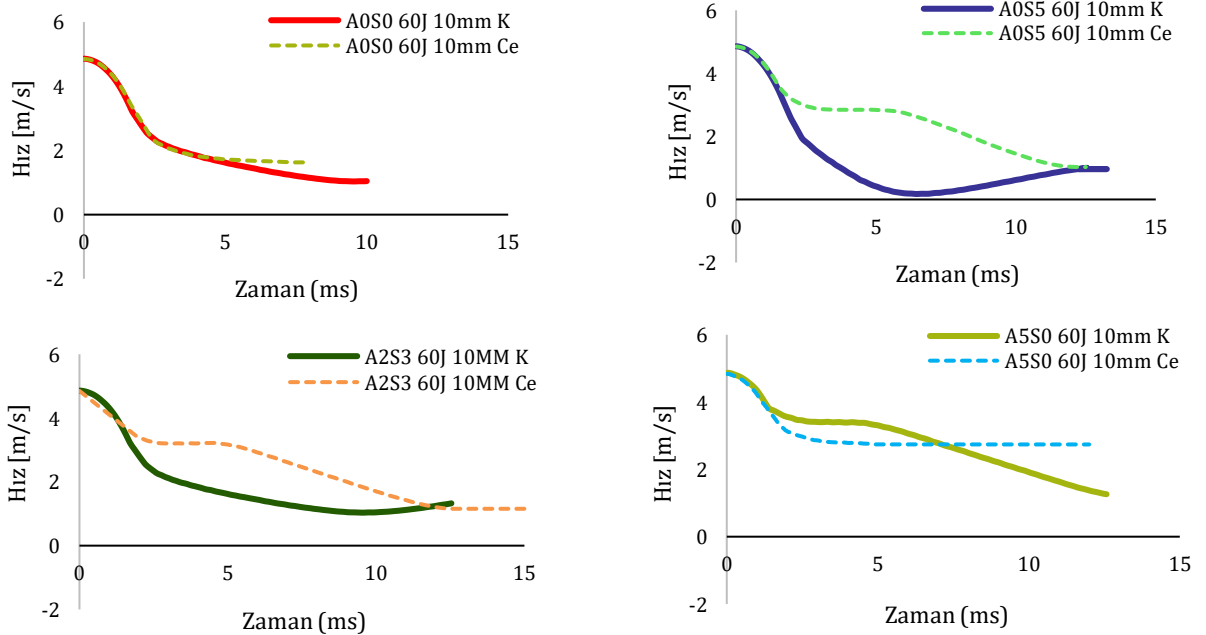
Şekil 8. Tüm kompozit grupları için maksimum çökme-darbe enerjisi grafiği.

Şekil 8'den hem kevlar hem de cam elyaf yüzeyler için en yüksek maksimum çökme değerlerinin hem alümina hem de silika içeren 3. grup A2S3 konfigürasyonunda meydana geldiği ve çökme miktarları açısından grup sıralamasının A2S3 > A0S0 > A0S5 > A5S0 şeklinde olduğu görülmektedir.

Bir absorbe edilen enerji-zaman grafiği numune yüzeyinden geri sekme (rebounding), vurucu ucunun numuneye saplanması (penetration) ve vurucunun numuneyi delip geçmesi (perforation) gibi üç özel duruma ait eğrileri gösterir. Absorbe edilen enerji, kuvvet-çökme (F-d) eğrisinin altında kalan alandan hesaplanmaktadır. Absorbe edilen enerji - zaman eğrilerinde vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi durumunda vurucunun sahip olduğu enerjinin tamamı numune tarafından absorbe edilemez. Bu durumda absorbe edilemeyen darbe enerjisi vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi için harcanır. Vurucunun numuneye saplanması durumunda vurucunun sahip olduğu darbe enerjisinin tamamı numune tarafından absorbe edilir. Vurucunun numuneyi delip geçmesi durumunda ise vurucu ile numune arasındaki sürtünme eğrisinin altında kalan alanın da darbe cihazının programı tarafından hesaplanan absorbe edilen enerji miktarına katılmasından dolayı eğri yukarı doğru yönelir [16, 17]. Şekil 9'da 60J darbe enerjisi uygulanan A0S0, A0S5, A2S3, A5S0 hibrit kompozit konfigürasyonlarına ait absorbe edilen enerji-zaman eğrileri verilmiştir. Absorbe edilen enerji-zaman eğrileri incelendiğinde, tüm konfigürasyonlar için eğrinin yukarı doğru yönlendiği görülmektedir. Buradan hareketle numunelerde delinme meydana geldiği anlaşılmaktadır.



Şekil 9. Tüm hibrit kompozit konfigürasyonlarına ait absorbe edilen enerji-zaman eğrileri.



Şekil 10. Tüm hibrit kompozit konfigürasyonları için hız-zaman eğrileri.

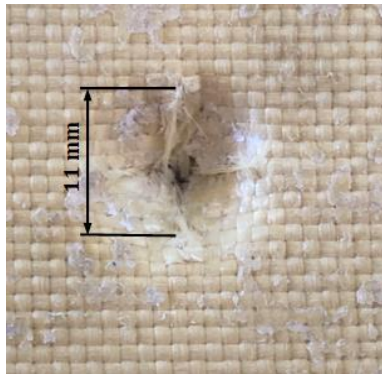
Şekil 10'da 60J darbe enerji değeri için tüm hibrit kompozit konfigürasyonlarına ait hız-zaman eğrileri verilmiştir. Şekilde verilen hız-zaman eğrilerinden, tüm konfigürasyonların benzer darbe davranışı gösterdikleri görülmektedir. Tüm konfigürasyonlar için kevlar elyaf ve cam elyaf yüzeylere uygulanan darbe deneyleri sonucunda numunelerin tamamında delinme hasar modu olduğu için hız-zaman eğrilerinin tamamının pozitif tarafta olduğu dolayısıyla vurucunun her bir konfigürasyon için pozitif bir hıza sahip olduğu görülmektedir.

Tüm bu grafikler ışığında kevlarların cam elyafa göre darbe dayanımının daha iyi olduğu sonucuna

ulaşmıştır. Bu sonuç literatür tarafından da desteklenmektedir: Park ve Jang tarafından yapılan çalışmada, sadece cam elyaf ve sadece kevlar elyafdan oluşan bir tabakalı kompozitler darbe deneyine maruz bırakıldığında kevlar elyafdan oluşan tabakalı kompozitte 1915N maksimum yük oluşurken, cam elyafdan oluşan bir tabakalı kompozitte 1261N maksimum yük olduğu rapor edilmiştir. Buradan hareketle tek tabakalı kompozitte kevlar elyafın cam elyafa göre daha fazla maksimum yük taşıdığı belirtilmiştir. Bunun yanı sıra cam elyafdan oluşan bir tabakalı kompozitte 3,12J toplam darbe enerjisi oluşurken kevlar elyafdan oluşan bir tabakalı kompozitte oluşan toplam darbe enerjisinin 14,33J

olduğu rapor edilmiştir. Benzer şekilde 3 tabakalı hibrit konfigürasyonlar oluşturarak darbe uygulanan üst yüzeydeki elyaf tabakada oluşan maksimum yükleri araştırmışlardır. CAA (cam/aramid/aramid) şeklinde tasarlanan 3 tabakalı hibrit kompozitin cam yüzeyine darbe uygulandığında 3561N maksimum yük ve 10,54J toplam darbe enerjisi olduğu bildirilirken, AAC (aramid/aramid/cam) şeklinde tasarlanan 3 tabakalı hibrit kompozitin aramid yüzeyine darbe uygulanması halinde ise 4469N maksimum yük ve 13,6J toplam darbe enerjisi olduğu rapor edilmiştir [14]. Dolayısıyla hibrit kompozitte kevlar elyafın cam elyafa göre daha fazla maksimum yük taşıdığı ve darbe dayanımının çok iyi olduğu sonucu literatür tarafından da doğrulanmaktadır.

Tabakalı kompozitlerde üst yüzeye darbe uygulanması sonucu öncelikle matriste hasar oluşur. Matristeki hasar çatlak oluşumu ile başlar ve bu çatlak ilerleyerek matris kırılmalarına neden olur. Matrisin aşırı zorlanması sonucu gerilmeler fiberlere aktarılır ve fiberler zorlanmaya başlar. Ayrıca matris kırılmaları delaminasyonun başlamasında da etken rol oynar. Üst katmanlardaki çatlak ve kırıklar ara yüzeye ulaştığında diğer katman tarafından durdurulur ve katmanlar arasında delaminasyon olarak ilerlemeye başlar. Bu şekilde hasar alt tabakalara kadar ulaşır [18]. Şekil 11'de kevlar yüzeye darbe uygulanması halinde darbe sonrası A2S3 kompozit numunesinin üst ve alt yüzeylerinde oluşan hasar bölgesi fotoğrafları verilmiştir.



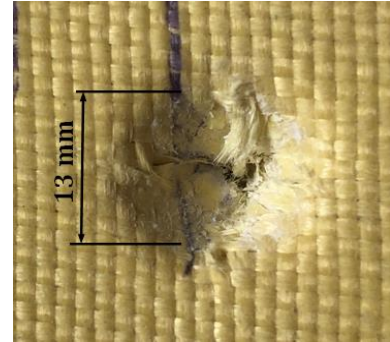
a) Darbe uygulanan üst yüzey (Kevlar)



b) Alt yüzey (Cam)

Şekil 11. Kevlar yüzeye darbe uygulanan A2S3 numunesinin üst ve alt yüzey hasar fotoğrafları.

Şekil 11a'dan, kevlar yüzeye darbe uygulanması halinde kompozitin üst yüzeyinde bası gerilmelerinin etkisiyle matris malzemesinde ezilme ile birlikte çatlakların olduğu ve bir miktar çökmenin gerçekleştiği görülmektedir. Numune yüzeyine darbe uygulanması sonucu fiberlerin konkav şekil almaya zorlanması ile fiberler uzamaya çalışır. Buna bağlı olarak da fiber kırılmaları oluşur. Üst yüzeydeki katmanlarda darbe sonucu meydana gelen bası ve kesme gerilmeleri sonucu matriste oluşan bu çatlak ve kırılmalar kompozitin iç bölgelerinde delaminasyonlara sebebiyet verir. Kompozitin iç bölgelerinde oluşan düşey eğilme kırıklarının büyümesi sonucu zorlanmayan en alt ara yüzeyde de delaminasyon başlar. Alt yüzeydeki katmanlarda meydana gelen eğilme gerilmeleri sonucu ise, eğilmeye bağlı olarak fiber-matris ara yüzey bağı kopar, matriste ve fiberde kırılmalar oluşur. Şekil 11b'den görüldüğü üzere, en alt yüzeyde eğilmeden kaynaklanan çekme gerilmelerinin en fazla olması ve bu yüzeydeki liflerin en fazla çekme uzamasına maruz kalmasından dolayı fiber ve matris malzemesinde kırılmalar artmış ve delinme hasarı meydana gelmiştir.



a) Darbe uygulanan üst yüzey (Cam)



b) Alt yüzey (Kevlar)

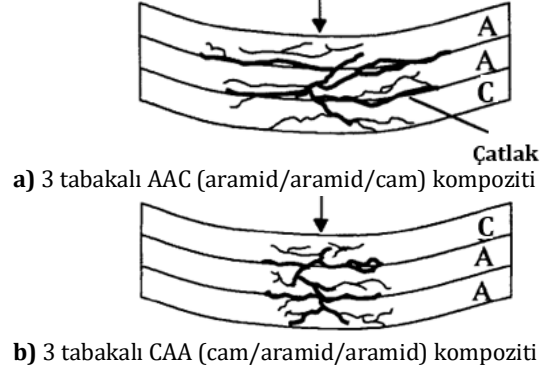
Şekil 12. Cam elyaf yüzeye darbe uygulanan A2S3 numunesinin üst ve alt yüzey hasar fotoğrafları.

Şekil 12'de ise A2S3 hibrit kompozitinde cam yüzeye darbe uygulanması halinde darbe sonrası numunenin üst ve alt yüzeylerinde meydana gelen hasar bölgelerinin fotoğrafları verilmiştir. Şekil 12'den, cam yüzeye darbe uygulanması A2S3 numunesinin, kevlar yüzeye darbe uygulanan A2S3 numunesine (Şekil 11) benzer hasar davranışı sergilediği ve numunenin alt yüzeyinde aynı şekilde delinme hasar modunun olduğu görülmektedir. Alt yüzeyin kevlar olması

halinde delinme hasar bölgesinin daha küçük bir alana sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 12b).

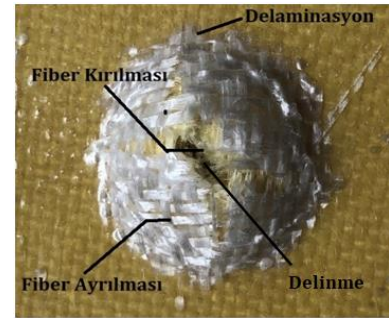
Şekil 11 ve Şekil 12 karşılaştırıldığında; keklar yüzeye darbe uygulanması halinde alt yüzeyde (cam elyafda) oluşan hasar bölgesinin (Şekil 11b), cam yüzeye darbe uygulanması halinde alt yüzeyde (keklar elyafda) oluşan hasar bölgesinden (Şekil 12b) daha büyük olduğu görülmektedir. Kevlar yüzeye darbe uygulandığında üst yüzeyde oluşan hasar çapı 11mm olarak ölçülürken (Şekil 11a), cam yüzeye darbe uygulandığında üst yüzeyde oluşan hasar çapı 13mm olarak ölçülmüştür. (Şekil 12a). Bununla beraber keklar yüzeye darbe uygulanması sonucunda alt yüzeyde (cam elyafda) hasar boyutu 24mm olarak ölçülürken (Şekil 11b), cam elyaf yüzeye darbe uygulanması sonucu alt yüzeyde (keklar elyafda) hasar boyutu 15 mm olarak (Şekil 12b) ölçülmüştür. Dolayısıyla keklar yüzeye darbe uygulanması sonucu alt yüzeyde (cam elyafda) oluşan hasar alanının, cam yüzeye darbe uygulanması sonucu alt yüzeyde (keklar elyafda) oluşan hasar alanına göre daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu hasar davranışı literatürdeki çalışmalar ışığında, üst tabakanın keklar (aramid) olması durumunda; aramid elyafın sünek yapısı nedeniyle kompozitin iç bölgelerinde oluşan delaminasyon alanının genişlediği ve bu geniş delaminasyonların kompozitin iç bölgelerinde oluşan hasar alanının da genişlemesine neden olacağından alt tabakadaki hasar alanının da haliyle büyük olacağı şeklinde yorumlanmıştır. Kevlar yüzeye darbe uygulanması durumunda alt yüzeyde oluşan hasar alanının (Şekil 11b), cam yüzeye darbe uygulanması durumunda alt yüzeyde oluşan hasar alanına (Şekil 12b) göre daha büyük olduğu sonucunu literatür de doğrulamaktadır. Park ve Jang tarafından yapılan çalışmada [14], tabakalı kompozitlerin darbe davranışı üzerine tabaka dizilim sırasının etkisini araştırmak amacıyla tasarlanan 3 tabakalı AAC (aramid/aramid/cam) ve CAA (cam/aramid/aramid) hibrit kompozitlerinde darbe uygulanan yüzeyin aramid ve cam elyaf olması halinde kompozitte oluşan darbe hasarının şematik resmi Şekil 13'te verilmiştir

Şekil 13 incelendiğinde, aramid yüzeye darbe uygulanması halinde hem darbenin uygulandığı üst tabakada hem de iç tabakalarda daha büyük bir hasar alanı (Şekil 13a) oluştuğu gözlenirken, cam yüzeye darbe uygulanması halinde tabakalı kompozitin üst ve iç tabakalarında daha küçük bir hasar alanının (Şekil 13b) oluştuğu görülmektedir. Aramid elyaf / cam elyaf hibrit kompozitlerin darbe enerjisinin çoğunlukla laminalar arasındaki arayüzde delaminasyon yoluyla absorbe edildiği belirtilmiştir. Bunun sonucu olarak aramid elyafın cam elyafa göre daha fazla darbe enerjisi absorbe etmesinin bu delaminasyon alanının kapsamı ile ilgili olduğu rapor edilmiştir.

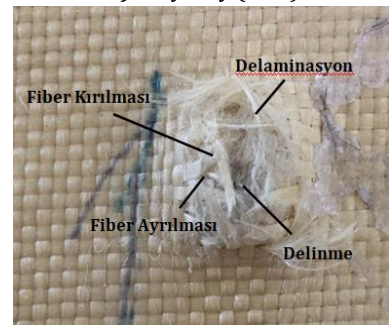


Şekil 13. İnce tabakalı bir kompozitte oluşan darbe hasarının şematik diyagramı [14].

Şekil 11 ve Şekil 12 birlikte değerlendirilip; üst ve alt yüzeylerde oluşan hasar bölgeleri karşılaştırılacak olursa; hem keklar elyaf için hem de cam elyaf için alt yüzeydeki hasar bölgesinin üst yüzeye göre daha büyük olduğu görülür. Kevlar yüzeye darbe uygulanması halinde alt yüzeyde (cam elyafda) oluşan hasar bölgesinin üst yüzeye göre çok daha büyük olduğu gözlenmiştir. Diğer konfigürasyonlarda da A2S3 konfigürasyonunda olduğu gibi darbe uygulanmayan alt yüzeydeki deformasyon alanının, darbe uygulanan üst yüzeydeki deformasyon alanına göre daha büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuç literatür ile örtüşmektedir. Lou vd. yapmış oldukları düşük hızlı darbe testleri sonucunda, fiber kırılmasının çok sınırlı olduğunu matris çatlaması ve delaminasyonun ise ana hasar mekanizmaları olduğunu rapor etmişlerdir. Üst tabakalarda matris hasarının esas olarak basınç gerilmesinden, alt tabakalarda ise çekme gerilmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir [19].



a) Alt yüzey (Cam)



b) Alt yüzey (Kevlar)

Şekil 14. A2S3 numunesine ait alt yüzey hasar fotoğrafları.

Şekil 14'ten, alt yüzeyin hem kevlar hem de cam olması durumunda her iki elyaf türü için de kompozitte delinme hasar modu olduğu ve alt yüzeyin cam olması durumunda oluşan delinmenin (Şekil 14a), alt yüzeyin kevlar olması durumunda oluşan delinmeye (Şekil 14b) göre daha belirgin olduğu görülmektedir. Numunelere darbe uygulanması sonucu alt tabakalarda oluşan eğilme gerilmelerinden dolayı her iki elyaf için de numunelerin alt yüzeyindeki hasar bölgelerinde hem eksen doğrultusunda hem de eksene dik yönde çift yönlü fiber uzamalarının olduğu görülmektedir. Ayrıca çoklu fiber ayrılmaları meydana gelmiştir. Eğilmede en fazla çekme gerilmelerinin ve fiberlerin çekme uzama değerlerinin numunenin alt kısmında oluşmasının sonucu olarak da hem kevlar elyaf da hem de cam elyaf alt yüzeyinde fiber ve matris kırılmaları daha da artarak delinme hasar modunu oluşturmuştur.

4. Tartışma ve Sonuç

Fonksiyonellendirilmiş alümina ve silika katkı kevlar-cam elyaf/epoksi reçineli hibrit kompozitlerin kevlar ve cam elyaf yüzeylerine 60J'lük darbe enerjisi ile darbe testi uygulanarak, farklı yüzeylere uygulanan darbe testlerinin darbe davranışı üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Ağırlıkça farklı alümina ve silika katkı oranlarına sahip olan A0S0, A0S5, A2S3, A5S0 hibrit kompozit numuneleri 60J darbe enerjisi altında hasar modları açısından benzer darbe davranışları göstermişlerdir.
- Tüm konfigürasyonlar için 60J darbe enerjisinin hem kevlar yüzeye hem de cam elyaf yüzeye ayrı ayrı uygulanması halinde hibrit kompozit numunelerde benzer hasar modları oluşmuştur. Hem kevlar hem de cam elyaf için numunelerin darbe uygulanan üst yüzeylerinde ezilme ile birlikte matris çatlaklarının olduğu görülmüştür. Darbe enerjisinin arttırılmasıyla matris çatlaklarının kompozitin iç tabakalarında ilerleyerek kırılmalara dönüşerek ara yüzeylerde hasar bölgesinin daha da genişlemesine neden olduğu gözlenmiştir. Darbe uygulanmamış olan alt yüzeylerinde ise eğilmeden kaynaklanan çekme gerilmelerinin en fazla olması dolayısıyla fiber uzamaları ve fiber ayrılmaları gözlenmiştir. Darbe enerjisinin arttırılmasıyla en alt yüzeyde oluşan fiber uzamalarının ve hasar bölgesinin daha da genişlediği, dış katmanlardaki matris ve fiberlerin birlikte kırılması sonucu delinme hasar modunun gerçekleştiği görülmüştür.
- Tüm konfigürasyonlar için darbe uygulanmayan alt yüzeydeki deformasyon alanının darbe uygulanan üst yüzeydeki deformasyon alanına göre daha büyük olduğu görülmüştür.

- 60J darbe enerjisi uygulanan 4 grup hibrit kompozitlerin tamamında hem kevlar hem de cam elyaf yüzeye uygulanan darbe deneyi sonucu elde edilen kuvvet-çökme (F-d) grafiklerinde açık tip eğri oluşmuş ve tüm numunelerde delinme meydana gelmiştir.
- Tüm konfigürasyonlar darbe dayanımı açısından karşılaştırıldığında; hem alümina hem de silika içeren A2S3 kompozit konfigürasyonunun darbe dayanımının diğer konfigürasyonlara göre daha iyi olduğu görülmüştür. 60J darbe enerjisi altında konfigürasyonlarda oluşan maksimum darbe yükü açısından sıralama A2S3 > A0S0 > A0S5 > A5S0 şeklinde oluşmuştur.
- Konfigürasyonlarda oluşan çökme açısından sıralamanın A2S3 > A0S0 > A0S5 > A5S0 şeklinde olduğu görülmüştür. Buradan görüldüğü üzere 60J darbe enerjisi için en fazla çökme %2 alümina %3 silika içeren A2S3 konfigürasyonunda oluşurken, en az çökme ise %5 alümina %0 silika içeren A5S0 konfigürasyonunda oluşmuştur.
- Tüm konfigürasyonlar için cam yüzeyde oluşan hasar alanının kevlar yüzeyde oluşan hasar alanına göre daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.
- Tüm konfigürasyonlar için darbe deneyi sonucu kevlar yüzeye darbe uygulanması halinde oluşan maksimum kuvvet değerinin, cam elyaf yüzeye darbe uygulanması halinde oluşan maksimum kuvvet değerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Buradan hareketle, kevlar yüzeye darbe uygulanan numunelerin yük taşıma kapasitelerinin ve darbe dayanımlarının cam elyaf yüzeye darbe uygulanan numunelere göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda; fonksiyonellendirilmiş alümina ve silika katkı kevlar-cam elyaf/epoksi reçineli hibrit bir kompozitte, kevlar yüzeyin darbe dayanımının cam yüzeye göre daha iyi olduğu görüldüğünden eğer hibrit kompozit darbeye maruz kalacaksa darbenin kevlar yüzeye uygulanması tercih edilmelidir. Bunun yanısıra alümina ve silika katkıları açısından bir değerlendirme yapılacak olursa; tasarlanan 4 konfigürasyon içerisinde alümina ve silikanın birlikte kullanıldığı hibrit kompozitlerin darbeye maruz bırakılmaları daha uygun olacaktır. Alümina ve silika katkı kompozitlerin üretiminde bu katkı maddelerinin malzeme içerisinde homojen dağılımının sağlanması da darbe yüküne maruz kalan kompozitin dayanımı açısından büyük önem arz etmektedir. Eğer katkı maddelerinin matris içerisinde ayrılarak homojen bir şekilde dağılımı sağlanamazsa topaklaşmalar oluşacaktır. Malzemenin iç yapısındaki bu topaklaşmalar darbe esnasında yükün homojen dağılımına engel olacağından kompozitin darbeye karşı dayanımı azalacaktır. Bu nedenle kompozit üretiminde bu hususun da göz önünde bulundurulması önemlidir.

Teşekkür

Fonksiyonellendirilmiş alümina ve silika katkı hibrit kompozit malzemelerin üretimi aşamasındaki katkılarından dolayı Dr. Mehmet Fahri SARAÇ'a, darbe deneylerinin yapılmasındaki katkılarından dolayı Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Okutan Baba, B., Karakuzu, R. ed. 2014. Kompozit Malzeme Mekaniği, Efil Yayınevi, Ankara, 471s.
- [2] Abrate, S. 2001. Modeling of Impacts on Composite Structures. Composite Structures, 51, 129-138.
- [3] Datta S., Krishna, A.V., Rao, R.M.V.G.K. 2004. Low Velocity Impact Damage Tolerance Studies on Glass-Epoxy Laminates-Effects of Material, Process and Test Parameters. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 23(3), 327-345.
- [4] Morais, de W. A. Monteiro, S.N., d'Almeida J.R.M. 2005. Effect of the Laminate Thickness on the Composite Strength to Repeated Low Energy Impacts. Composite Structures, 70, 223-228.
- [5] Öndürücü ,A., Karacan, A. 2018. Tabakalı Cam Elyaf/Epoksi Kompozitlerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(3), 435-447.
- [6] Hosur, M.V., Adbullah, M., Jeelani, S. 2005. Studies on the Low-Velocity Impact Response of Woven Hybrid Composites. Composite Structures, 67, 253-262.
- [7] Baucom, J.N., Zikry, M.A. 2005. Low Velocity Impact Damage Progression in Woven E-Glass Composite Systems. Composites, 36, 658-664.
- [8] Valença, S.L., Griza, S., Oliveira V.G., Sussuchi, E.M., Cunha, F.G.C. 2015. Evaluation of the Mechanical Behavior of Epoxy Composite Reinforced with Kevlar Plain Fabric and Glass/Kevlar Hybrid Fabric. Composites Part B: Engineering, 70, 1-8.
- [9] Rafiq, A., Merah, N., Boukhili, R., Al-Qadhi, M. 2017. Impact Resistance of Hybrid Glass Fiber Reinforced Epoxy/Nanoclay, Polymer Testing, 57, 1-11.
- [10] Reis, P.N.B., Ferreira J.A.M., Santos P., Richardson M.O.W., Santos J.B. 2012. Impact Response of Kevlar Composites with Filled Epoxy Matrix. Composite Structures, 94(12), 3520-3528.
- [11] Öner, G., Ünal, H.Y., Pekbey, Y. 2017. Karbon Nanotüp Katkılı Cam Lifi - Epoksi Kompozitlerin Termal ve Eğilme Özelliklerinin Araştırılması. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 8(4), 805-816.
- [12] Mahdi, T.H., Islam, M. E., Hosur, M.V., Jeelani, S. 2017. Low-Velocity Impact Performance of Carbon Fiber-Reinforced Plastics Modified with Carbon Nanotube, Nanoclay and Hybrid Nanoparticles. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 36(9), 696-713.
- [13] Sayman, O., Benli, S., Arman, Y., Doğan, T. 2009. Karbon cam lifi hibrit kompozit malzemelerin farklı ortam koşulları altında düşük hızlardaki darbe dirençlerinin geliştirilmesi. Tübitak Projesi, Proje No: 107M332, 81s, İzmir.
- [14] Park, R., Jang, J. 2001. Impact Behavior of Aramid Fiber/Glass Fiber Hybrid Composites: The Effect of Stacking Sequence. Polymer Composites, 22(1), 80-89.
- [15] Park, R., Jang, J. 2000. Effect of Stacking Sequence on the Compressive Performance of Impacted Aramid Fiber-Glass Fiber Hybrid Composite. Polymer Composites, 21(2), 231-237.
- [16] Can, G. 2019. Fonksiyonellendirilmiş alümina ve silika katkı cam-keklar elyaf/epoksi hibrit kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99s, Isparta.
- [17] Sayer, M. 2009. Hibrit kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 134s, Denizli.
- [18] Ceyhun, V., Turan, M. 2003. Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışı. Mühendis ve Makine, 44(516), 35-41.
- [19] Lou, X., Cai, H., Yu P., Jiao, F., Han, X. 2017. Failure Analysis of Composite Laminate under Low-Velocity Impact Based on Micromechanics of Failure. Composite Structures, 163, 238-247.