



**Cilt/Volume: 01 Sayı/Number: 02 Yıl/Year: 2019 E-ISSN: 2667-7989**

**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN ve MÜHENDİSLİK**  
**BİLİMLERİ DERGİSİ**

Necmettin Erbakan University  
Journal of Science and  
Engineering

[dergipark.gov.tr/neufmbd](http://dergipark.gov.tr/neufmbd)



[www.erbakan.edu.tr](http://www.erbakan.edu.tr)

**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ**  
**NECMETTIN ERBAKAN UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND ENGINEERING**

**Cilt/Volume: 1, Sayı / Issue: 2 (Aralık / December 2019)**  
Ulusal Hakemli Dergi / National Refereed Journal

**Sahibi/Owner**

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Adına/  
On Behalf of Necmettin Erbakan University the Graduate School of Natural and Applied Science  
Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN

**Baş Editör/Editor-in- Chief**

Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN

**Sayı Editörü/Issue Editor**

Doç. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

**Yayın Türü / Publication Type**

Yerel Süreli Yayın / Local Periodical

**Yazışma Adresi / Correspondence Address**

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Müdürlüğü, A3 Blok, No:120, Posta Kodu:42090, Meram Yeni Yol-Meram/Konya

**Tel / Phone:** 0332 323 82 20

**Web:** [www.dergipark.gov.tr/neufmbd](http://www.dergipark.gov.tr/neufmbd)

**E-posta / E-mail:** [fenbil@erbakan.edu.tr](mailto:fenbil@erbakan.edu.tr)

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, yılda iki kez yayınlanan ulusal hakemli bir dergidir.

Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering is a national bi-annual journal.

**E- ISSN: 2667-7989**

# DergiPark

## AKADEMİK

<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>/</b>	<b>CONTENTS</b>
<b>MAKALELER</b>		<b>ARTICLES</b>
Kefir Kültürü ve İstant Maya Kullanımının Boza Kalitesi Üzerine Etkisi ve Havuç Tozları ile Bozanın Zenginleştirilmesi	<b>59-66</b>	<i>The Effects of Kefir Culture and Instant Yeast Use on Boza Quality and Enrichment of Boza with Carrot Powders</i>
<b>Nilgün ERTAŞ</b> <b>Mine ASLAN</b> <b>Esmâ YAĞCILAR</b>		<b>Nilgün ERTAŞ</b> <b>Mine ASLAN</b> <b>Esmâ YAĞCILAR</b>
Farklı Stabilizasyon İşlemleri Uygulanmış Buğday Ruşeymlerinin Depolama Özellikleri	<b>67-75</b>	<i>Storage Properties of Wheat Germ Applied of Different Stabilization Processes</i>
<b>Mustafa Kürşat DEMİR</b> <b>Nermin BİLGİÇLİ</b> <b>Selman TÜRKER</b> <b>Berat DEMİR</b>		<b>Mustafa Kürşat DEMİR</b> <b>Nermin BİLGİÇLİ</b> <b>Selman TÜRKER</b> <b>Berat DEMİR</b>
Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Döküm Sektöründe Bir Uygulama	<b>76-89</b>	<i>Failure Mode and Effects Analysis and an Application in The Casting</i>
<b>Sariye ŞENÇOBAN KAYA</b> <b>Kemal ALAYKIRAN</b>		<b>Sariye ŞENÇOBAN KAYA</b> <b>Kemal ALAYKIRAN</b>
Filyos Çayı Havzasında SWAT Modelinin Uygulaması	<b>90-102</b>	<i>SWAT Model on Filyos Creek Basin</i>
<b>Kadir ÖZDEMİR</b> <b>Ömer GÜNGÖR</b>		<b>Kadir ÖZDEMİR</b> <b>Ömer GÜNGÖR</b>
Ridge Tahminine Dayalı Kantil Regresyon Analizinde Yanlılık Parametresi Tahminlerinin Performanslarının Karşılaştırılması	<b>103-111</b>	<i>A Comparison of Performances of the Estimations of the Bias Parameter in the Quantile Regression Analysis Based on Ridge Estimation</i>
<b>Murat ERİŞOĞLU</b> <b>Nurullah YAMAN</b>		<b>Murat ERİŞOĞLU</b> <b>Nurullah YAMAN</b>

<b>MAKALELER</b>		<b>ARTICLES</b>
Pasif RFID Etiket Konumunu Belirlemeye Yönelik UHF Anten Tasarımı <b>Taha Fatih ATEŞ Hulusi AÇIKGÖZ Ali Osman ÖZKAN</b>	<b>112-117</b>	<i>UHF Antenna Design for Identifying Passive RFID Tag Location</i> <b>Taha Fatih ATEŞ Hulusi AÇIKGÖZ Ali Osman ÖZKAN</b>
Askılı Kuşlama Makinesinin PLC İle Kontrolü Sayesinde Elde Edilen Kazanımlar <b>Abdullah AKKAŞ Muciz ÖZCAN</b>	<b>118-127</b>	<i>Gains of Control of Hanger Type Shot Blasting Machine with PLC</i> <b>Abdullah AKKAŞ Muciz ÖZCAN</b>

## YAYIN KURULU / EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN (Necmettin Erbakan Üniversitesi)  
Doç. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR (Necmettin Erbakan Üniversitesi)

## DANIŞMA KURULU / ADVISORY BOARD

Prof. Dr. Adem ACIR	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet AVCI	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet TÜRK	Celal Bayar Üniversitesi
Prof. Dr. Ali UZUN	Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Aşır GENÇ	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Ayhan İSTANBULLU	Balıkesir Üniversitesi
Prof. Dr. Doğan Uğur ŞANLI	Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Elçin YUSUFOĞLU	Uşak Üniversitesi
Prof. Dr. Erdal ULUALAN	Dumlupınar Üniversitesi
Prof. Dr. Haluk BİNGÖL	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Hatem AKBULUT	Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Hayri DAYIOĞLU	Dumlupınar Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin KURT	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. İbrahim KALAYCI	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. İlker AKÇA	Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet AKTAN	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet KARALI	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Mesut UYANER	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Metin BÜLBÜL	Dumlupınar Üniversitesi
Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Oğuz GÜRSOY	Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Prof. Dr. Rahmi ÜNAL	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ramazan KÖSE	Dumlupınar Üniversitesi
Prof. Dr. Recep ARTIR	Marmara Üniversitesi
Prof. Dr. Sabri ALPAYDIN	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Sabri KOÇER	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Salih Zeki YILDIZ	Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Senar AYDIN	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Süleyman KALELİ	Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Ümmügülüm DAĞLIOĞLU	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof. Dr. Hidayet OĞUZ	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet CAN	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet Turgut BİLGİÇLİ	Sakarya Üniversitesi
Doç. Dr. Ceyda ÖZFİDAN KONAKÇI	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Cüneyt Nadir SOLAK	Dumlupınar Üniversitesi
Doç. Dr. Esra YALDIZ	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Fatih TÖRNÜK	Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Hakan TONGAL	Süleyman Demirel Üniversitesi
Doç. Dr. Halef DİZLEK	Osmaniye Korkut Atay Üniversitesi
Doç. Dr. Hasan KOTAN	Necmettin Erbakan Üniversitesi

Doç. Dr. Hicran AÇIKEL  
Doç. Dr. Hüseyin AKSOY  
Doç. Dr. Mehmet Akif ERİŞMİŞ  
Doç. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR  
Doç. Dr. Mustafa YÖNTEM  
Doç. Dr. Nilgün ERTAŞ  
Doç. Dr. Sedat PAK  
Doç. Dr. Yakup ŞENYÜZ  
Dr. Öğr. Üyesi Fatih TOKSOY  
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Ali AKYÜREK  
Dr. Öğr. Üyesi Özgür DÜNDAR

Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Sakarya Üniversitesi  
Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Dumlupınar Üniversitesi  
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü  
Necmettin Erbakan Üniversitesi  
Necmettin Erbakan Üniversitesi

## **BU SAYININ HAKEMLERİ / REFREES FOR THIS ISSUE**

Prof. Dr. Hatice ŞAMKAR	(Eskişehir Osmangazi Üniversitesi)
Prof. Dr. İlhami HORUZ	(Gazi Üniversitesi)
Prof. Dr. İrfan AY	(Balıkesir Üniversitesi)
Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ	(Necmettin Erbakan Üniversitesi)
Prof. Dr. Senar AYDIN	(Necmettin Erbakan Üniversitesi)
Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ	(Konya Teknik Üniversitesi)
Doç. Dr. Alper SİNAN	(Akdeniz Üniversitesi)
Doç. Dr. Enes DERTLİ	(Bayburt Üniversitesi)
Doç. Dr. Fatma BEDÜK	(Necmettin Erbakan Üniversitesi)
Doç. Dr. Hakan TONGAL	(Süleyman Demirel Üniversitesi)
Doç. Dr. Mustafa Zeki YILMAZOĞLU	(Gazi Üniversitesi)
Dr. Öğretim Üyesi Ahmet KAYABAŞI	(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi)
Dr. Öğretim Üyesi Demet GÖNEN	(Balıkesir Üniversitesi)
Dr. Öğretim Üyesi Erdem AKSAKAL	(Atatürk Üniversitesi)
Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin POLAT	(Gazi Üniversitesi)
Dr. Öğretim Üyesi Kadir SABANCI	(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi)
Dr. Öğretim Üyesi Mehmet KOYUNCU	(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi)
Dr. Öğretim Üyesi Mehmet MERKEPÇİ	(Gaziantep Üniversitesi)
Dr. Öğretim Üyesi Onur Behzat TOKDEMİR	(ODTÜ)
Dr. Öğretim Üyesi Sultan TONTUL	(Selçuk Üniversitesi)
Dr. Öğretim Üyesi Süleyman GÖKMEN	(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi)

## Kefir Kültürü ve Instant Maya Kullanımının Boza Kalitesi Üzerine Etkisi ve Havuç Tozları ile Bozanın Zenginleştirilmesi

Nilgün ERTAŞ<sup>1</sup> , Mine ASLAN<sup>1</sup> , Esmâ YAĞCILAR<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 42090, Meram, Konya, Türkiye

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

(Geliş/Received: 05.04.2019; Kabul/Accepted: 20.05.2019; Online baskı/Published online: 09.12.2019)

### ÖZET

Boza; hammadde olarak kabukları ayrılmış darı, mısır, buğday veya pirincin ezilerek su ile pişirilmesi ve geleneksel olarak alkol ve laktik asit fermantasyonu ile fermente edilmesi ile üretilen, krem renkte fermente bir Türk içeceğidir. Bozanın kalite özellikleri fermantasyon proseslerinden ve kullanılan hammaddelerden dolayı değişim gösterebilmektedir. Bu çalışmada boza instant maya (*Saccharomyces cerevisiae*) ve kefir kültürü kullanılarak fermente edilmiş, farklı doğal renklendirici maddeler (turuncu havuç tozu ve siyah havuç tozu) ile bozanın fenolik içeriği ve duyu özellikleri geliştirilmiştir. Boza üretiminde kefir kültürünün kullanımı ile instant maya kullanımına göre parlaklık ve kırmızılık değerlerinde değişiklik gözlenmediği, sarılık ve chroma değerlerinin ise azaldığı, hue angle değerlerinin arttığı tespit edilmiş, daha düşük pH değerleri ve viskozite değerleri ile daha yüksek oranda toplam fenolik madde miktarı elde edilmiştir. Boza örneklerinde siyah havuç tozu ilavesiyle  $a^*$  değerlerinde artış,  $L^*$  ve  $b^*$  değerlerinde düşüş gözlemlenmiş, turuncu havuç tozu ilavesinin en yüksek kırmızılık değerleri verdiği belirlenmiştir. Siyah havuç tozu ilavesi yapılan boza örneklerinde; diğer boza örneklerine kıyasla en yüksek oranda toplam fenolik madde miktarı tespit edilmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre, fermantasyonda kefir kültürü kullanımı tat, koku, pürüzlülük, ekşilik ve genel kabul edilebilirlik parametreleri açısından instant maya kullanılan örneklere göre panelistler tarafından daha yüksek skorlar almışlardır. En yüksek genel kabul edilebilirlik değerini kefir kültürü ile siyah havuç tozu içeren boza örnekleri alırken, instant maya ve turuncu havuç tozu içeren boza örnekleri en az tercih edilen örnekler olmuş ve panelistlerden en düşük skorları almışlardır.

**Anahtar Kelimeler:** Boza, Kefir, Instant maya, Siyah havuç tozu, Turuncu havuç tozu, Reoloji, Fenolik

**The Effects of Kefir Culture and Instant Yeast Use on Boza Quality and Enrichment of Boza with Carrot Powders**

### ABSTRACT

Boza is a traditional cream colored fermented Turkish beverage which produced with fermentation of alcohol and lactic acid using shells separated millet, corn, wheat or rice as a raw material. The quality characteristics of boza can be shown differences due to the fermentation processes and used raw materials. In this study, boza was fermented with kefir culture and instant yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and developed phenolic content and sensory properties of boza with different natural coloring agents (orange carrot and black carrot powder). When compare to instant yeast, with utilization of kefir culture in boza production determined not a change in lightness and redness values, a decrement in yellowness and chroma values and an increment in hue angle values was observed, and also lower pH and viscosity values, higher total phenolic content was obtained with kefir culture. With use of black carrot powder in boza samples resulted an increase in  $a^*$  and a decrease in  $L^*$  and  $b^*$  values, the highest redness value was determined with the addition of orange carrot powder. Boza samples added black carrot powder showed the highest total phenolic contents than other boza samples. According to the results of the sensory analysis, the samples of boza fermented with kefir culture, taste, smell, roughness, sourness and general acceptability parameters received higher scores by panelists, compared to samples used instant yeast. While the highest general acceptability value was obtained from boza samples containing both kefir culture and black carrot powder, boza samples used both yeast and orange carrot powder were least preferred and received the lowest scores from panelists.

**Keywords:** Boza, Kefir, Yeast, Black carrot powder, Orange carrot powder, Rheology, Phenolic

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: dr.nilgunertas@gmail.com / Tel: +90 332 325 20 24 (4040)



## 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kolesterol, kanser, diyabet, laktoz intoleransı, sindirim zorlukları gibi yaşanan sağlık sorunları fonksiyonel gıdalara yönelik ilgiyi gün geçtikçe artırmaktadır. Fonksiyonel gıda veya fonksiyonel bileşen “tanımlanan ya da tanımlanamayan sağlık üzerine yararlı etki gösteren biyoaktif bileşikler içeren doğal veya farklı prosesler (fermantasyon, çimlendirme, vb.) uygulanmış gıda” olarak tanımlanmaktadır [1,2]. Fonksiyonel gıdalar, vitamin C, vitamin E, folik asit, çinko, demir ve kalsiyum gibi vitamin veya mineral takviyesi ve kanser, kolesterol gibi hastalıkların önlenmesine yönelik omega-3 yağ asidi, fitosterol ve çözünür lif, probiyotik bakteri gibi çeşitli mikro besinlerin takviyesi ile elde edilebilmektedir [3,4,5]. Fonksiyonel gıdalar besinsel ihtiyacı karşılamanın yanı sıra beslenme eksikliğinden kaynaklı hastalıkların önlenmesi için gerekli besin ihtiyacının giderilmesinde de önemli bir yere sahiptir [6,7]. Gıdanın fonksiyonel özelliklerini artırmaya yönelik kullanılan fermentasyon prosesi gıdaların raf ömrünü artıran en eski ve en ekonomik yöntemlerden biridir. Fermentasyon; gıdaların organoleptik özelliklerini, protein ve karbonhidrat sindirilebilirliğini, vitamin ve minerallerin biyoyararlılığını geliştirmektedir [8,9]. Fermente gıdalar, kan kolesterol seviyesini azaltarak, bağışıklığı artırarak, patojenlere karşı koruyarak, osteoporoz, diyabet, obezite, alerji, laktoz intoleransı gibi hastalıklara yönelik yararlı etkiler göstermektedir [10]. Fonksiyonel fermente gıda üretiminde tahıllar, probiyotik mikroorganizmaların büyümesinde rol oynayan önemli besin kaynağıdır. Tahılların fermentasyonu sırasında serbest amino asit, vitamin vb. bileşenlerin oluşumu ve demir, çinko, kalsiyum, magnezyum ve proteinlerin biyoyararlılığını azaltan fitatın enzimlerle parçalanması gıdanın besin değerini artırmaktadır [11,12]. Fermentasyon, tahıl tanelerinde bulunan ester bağlarının parçalanmasını sağlayarak polisakkaritlere bağlı diyet lifi-fenolik kompleksinde fenolik asitlerin serbest hale geçmesi ile ürünün fonksiyonelliğini artırmaktadır [5, 13].

Tahıl bazlı fermente bir içecek olan boza; darı, mısır, buğday ve pirinç unu veya irmiğinin maya ve laktik asit fermentasyonuna tabi tutulması sonucu elde edilmektedir. Krem beyaz renge, tatlı-ekşi tada, asidik-alkollü bir kokuya ve koyu bir kıvama sahiptir [14]. Boza üretimi, hammadde haşlama, filtrasyon, soğutma, şeker ilavesi, fermentasyon ve paketleme olmak üzere altı aşamada gerçekleşmektedir [8, 15]. Boza üretiminde ürünün daha asidik olmasını sağlayan laktik asitin olduğu laktik asit fermentasyonu ve karbondioksit oluşumu ile hacim artışı sağlayan maya fermentasyonu olarak iki tip fermentasyon meydana gelmektedir [16]. Boza vitamin, mineral, karbonhidrat, diyet lif ve protein içeriği ile hem besleyici hemde fonksiyonel bir içecektir [10, 17,18]. Boza, yapısında probiyotik özelliğe sahip laktik asit bakteri bulundurması sebebiyle probiyotik bir gıda olarak kabul edilmektedir. Probiyotik bakteriler kefir gibi fermente süt ürünlerinde önemli ölçüde yer alan laktik asit bakterileri ve bifidobakterlerdir.

Kefir kültürü laktik asit, asetik asit, karbondioksit, alkol ve aromatik bileşikler üretmek için [19] inek, keçi veya koyun sütünün yanı sıra peyniraltı suyu, meyve suyu ve melas gibi substratları da mayalamak için kullanılmaktadır [20,21]. Kefir taneleri minyatür karnabahar görünümünde 3-35mm çaplarında değişen küçük, sert, düzensiz şekilli, sarımsı beyaz granüllerdir [22]. Kefir taneleri %4,4 yağ, %12,1 kül, %45,7 mukopolisakkarit, %34,3 protein (%27 çözünemeyen, %1,6 çözünebilir ve %5,6 serbest aminoasit), vit-B, vit-K, triptofan, Ca, P ve Mg içermektedir [23,24]. Kefir tanelerinde bakteri ve mayalar kefir adı verilen suda çözülebilen dallı glukogalaktan polisakkarit matriksi ile çevrelenmiştir [25,26]. Kefir taneleri mezofilik homofermantatif laktik asit streptokokları, termofilik ve mezofilik laktobasil, asetik asit bakterileri ve mayalar dahil olmak üzere, fonksiyonel olarak en az altı farklı mikroorganizma grubunu içermektedir [27,28]. Laktik asit bakterileri asetaldehit, diasetil, asetoin, etanol, asetik asit ve karbondioksit gibi lezzet bileşenleri ile birlikte laktik asit üretmektedir [29].

Havuç ekonomik açıdan yaygın olarak yetiştirilen en değerli 10 bitkiden biridir [30]. Dünya çapında turuncu havuç yaygın olmakla birlikte kırmızı, siyah, pembe, mor, sarı ve beyaz renkli havuç türleri de bulunmaktadır. Havuç diyet lifi, karbonhidrat, mineral, beta karoten, kalsiyum, magnezyum, potasyum, fosfor, sodyum, diğer bazı iz mineralleri ve C, E ve K vitamini içermektedir [31]. Havuç yapısında karotenoidler, antosiyaninler, C vitamini ve poliaktilenler gibi fenolik bileşikleri de bulundurmaktadır. Havucun anti-kanser, anti diyabetik, antioksidan, anti-inflamatuar etki gösterdiği belirtilmektedir [32,33,34].

Bu çalışmanın amacı, boza üretiminde fermentasyon için kullanılan kefir kültürü ve instant maya ilavesi ile fonksiyonel özelliğinin artırılmasını ve eklenen farklı doğal renk maddelerinin bozanın besinsel, reolojik ve duyuşal özelliklerine olan etkisini ortaya koymaktır.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Materyal (Material)

Boza üretiminde hammadde olarak Konya'da yerel bir firmadan elde edilen bulgur ve pirinç kullanılmıştır. Diğer hammaddeler; içme suyu, toz şeker, maya geleneksel yöntemlerle geliştirilmiş doğal kefir kültürü, instant maya, siyah havuç tozu ve turuncu havuç tozudur. Siyah havuç tozu ve turuncu havuç tozu Konya'daki bir katkı firmasından elde edilmiştir.

### 2.2. Boza Üretimi (Boza Production)

Geleneksel olarak üretilen boza örnekleri Tablo1'de belirtilen deneme desenine göre 200g bulgur ve 100g pirinç 2:1 oranlarında tartılıp yıkanmış ve 1,5 lt içme suyu ilave edilerek otoklavda (121 °C'de, 15 dakika) pişirilmiştir. Pişirme sonunda lapa haline gelen bulgur ve pirinç karışımı blender yardımı ile ezilmiş ve daha sonra süzgeçten geçirilerek posasından ayrılmıştır. Böylece boza hamuru pürüzsüz hale getirilmiştir. Elde edilen karışıma %20 oranında şeker ilavesi yapılmıştır. Denemelerde fermantasyonu sağlamak amacıyla % 2 oranında instant maya ve kefir kültürü eklenerek 24 saat oda sıcaklığında fermantasyona bırakılmıştır. İki farklı maya ile fermente edilen bozalar katkısız, %1 turuncu havuç tozu katkılı ve %1 siyah havuç tozu katkılı olmak üzere 3 farklı katkılama yapılması ile 2 tekerrürlü olarak (2 x 3 x 2) faktöriyel deneme desenine göre üretilmiştir. Fermantasyon sonucu elde edilen boza örneklerinde bazı fiziksel, kimyasal ve duyuusal analizler gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** Deneme deseni

(Table 1. Trial pattern)

Deneme deseni	Boza örnekleri					
	1	2	3	4	5	6
İstant Maya (%)	2	2	2	-	-	-
Kefir Kültürü (%)	-	-	-	2	2	2
Turuncu Havuç Tozu (%)	-	1	-	-	1	-
Siyah Havuç Tozu (%)	-	-	1	-	-	1

### 2.3. Renk Analizi (Color Analysis)

Bozaların renk analizi renk ölçüm cihazı (Konika Minolta CM700d, Osaka, Japonya) ile belirlenmiştir. Renk skalası; L \*değeri [ (0) siyah- (100) Beyaz], a\* değeri [ (+) kırmızı, (-) yeşil], ve b\* değeri [ (+) sarı, (-) mavi] 5 paralelli olarak ölçülmüştür [36]. a\* ve b\* değerlerinden SI (chroma) ve hue angle değerleri hesaplanmıştır.

### 2.4. Kimyasal Analizler (Chemical Analysis)

Kuru madde tayini darası alınmış ve sabit tartıma gelmiş kuru madde kaplarına yaklaşık 5g boza tartılıp 105 ± 2 °C de 4 saat tutularak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra desikatörde soğutulularak tartılmıştır. Bulunan değerlerle % kuru madde oranı hesaplanmıştır [37]. Örneklerde pH tayini birleşik elektrotlu pH-metre (Mettler Toledo, İsviçre) cihazı kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

Toplam fenolik madde içeriği, Folin-Ciocaltaeu Metodu kullanılarak kolorimetrik olarak ölçülmüştür. Boza örnekleri (4 g), asitlendirilmiş metanol (HCl/metanol/su, 1:80:10, v/v) içerisinde (20 ml), 2,5 saat süreyle çalkalamalı su banyosunda (24 ± 1 °C) çalkalanarak ekstrakte edilmiştir. Daha sonra bu karışım, 3000 rpm'de 10 dakika süre ile santrifüj edilmiş ve sonrasında elde edilen supernatant kullanılarak toplam fenolik madde içeriği tespit edilmiştir [38,39]. Analizde 0.8 ml supernatant örnek, 4,8 ml saf su, 0,5 ml Folin-Ciocaltaeu reaktifi (%10'luk, h/h, suda) ve 1 ml sodyum karbonat çözeltisi (% 20'lik, a/h, suda) deney tüpünde karıştırılarak, 2 saat oda sıcaklığında (24 ± 1 °C) ışık görmeyen bir yerde inkübe edilmiştir. Bu süre sonunda da çözeltilerin absorpsiyon değerleri 725 nm'de spektrofotometrede (Hitachi-U1800, Japonya) okunmuş ve toplam fenolik miktarı gram örnekte mg gallik asite (mg GAE/g) eşdeğer olacak şekilde hesaplanmıştır [40,41].

### 2.5. Reolojik Özellikler (Rheological Properties)

Boza örneklerinin reolojik tayini 7 no'lu spindle kullanılarak 20 rpm'lik hızda rotasyonel Brookfield RTV viskozimetre (Brookfield Engineering Laboratories, Middleboro, USD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Viskozite ölçümleri 4 ± 1 °C'deki boza örneklerinde gerçekleştirilmiştir [42].

## 2.6. Duyusal Analiz (Sensorial Analysis)

Boza örneklerinin duyusal özellikleri beş puanlı skala kullanılarak belirlenmiştir. Bozaların duyusal analizleri, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Gıda Mühendisliği ve Gastronomi ve Mutfak Sanatları bölümünden seçilen 15 panelist tarafından gerçekleştirilmiştir (5 Puan: Çok iyi, 4 Puan: İyi, 3 Puan: Kabul edilebilir, 2 Puan: Yeterli değil, 1 Puan: Kötü şeklindedir). Panelistler tarafından, standart olarak ışıklandırılmış ortamda boza örnekleri tat, koku, pürüzlülük, renk, ekşilik ve genel kabul edilebilirlik özellikleri üzerinden bireysel olarak analiz edilmiştir.

## 2.7. İstatistiksel analiz (Statistical Analysis)

Denemelerde elde edilen verilerin istatistiki analizinde JMP istatistik programı, 5.0.1 versiyonu (SAS Institute Inc., Cary, NC, ABD) kullanılmıştır. Araştırma 2 tekerrürlü olarak yürütülmüş olup, elde edilen veriler varyans analizine tabi tutularak, farklılıkları istatistiki olarak önemli bulunan ana varyasyon kaynaklarının ortalamaları ise çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Boza örneklerinin renk özelliklerine (L\*, a\*, b\* SI ve hue angle) ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları Tablo 2'de özetlenmiştir. L\* değeri aydınlık derecesini (100 (beyaz) 0 (siyah)); a\* değeri a değeri kırmızı veya yeşilliği, (+a: kırmızı, -a: yeşil); b değeri sarılık veya maviliği (+b: sarı; -b: mavi) ifade etmektedir. L\*, a\* ve b\* değerleri sırasıyla 21,29 ile 67,53 arasında; -2,85 ile 28,39 arasında; 4,48 ile 21,34 arasında tespit edilmiştir. Bozanın fermantasyonunda instant maya ya da kefir kültürü kullanımı L\* ve a\* değerlerini istatistiki olarak etkilememiş (P > 0.05), kefir kullanımı sarılık değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Zenginleştirme açısından incelendiğinde; havuç tozu ilavesi parlaklık değerlerinde düşüşe, kırmızılık değerlerinde artışa sebep olurken, turuncu havuç tozu sarılık değerlerinin artmasına, siyah havuç tozu ise sarılık değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Boza örneklerinin SI (chroma) ve hue angle değerleri sırasıyla 7,01 ile 28,75 arasında; 8,92 ile 114,05 arasında ölçülmüştür. Kefir kullanımı instant maya kullanımına göre chroma değerlerinde düşüşe, hue angle değerlerinde artışa neden olmuştur. Havuç tozu kullanımı ise chroma değerlerinde artış, hue angle değerlerinde düşüş göstermiştir.

**Tablo 2.** Boza örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları<sup>1</sup>  
(*Table 2. Multiple comparison test results of the color values of Boza samples<sup>1</sup>*)

		L*	a*	b*	SI	Hue angle
Fermantasyon	İstant maya	49,47 a	10,44 a	10,94 a	19,51 a	64,70 b
	Kefir kültürü	49,19 a	10,44 a	10,54 b	19,07 b	67,21 a
Zenginleştirme	Katkısız	67,53 a	-2,85 c	6,41 b	7,01 c	114,05 a
	Turuncu havuç tozu	59,17 b	5,78 b	21,34 a	22,11 b	74,89 b
	Siyah havuç tozu	21,29 c	28,39 a	4,48 c	28,75 a	8,92 c

<sup>1</sup> Aynı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (P>0.05).

Boza örneklerine ait kuru madde analizi sonuçları Tablo 3'deki gibidir. Boza örneklerinin kuru madde miktarları %20,71 ile 26,34 arasında değiştiği belirlenmiştir. Benzer değerler boza üzerine yapılan bir başka çalışmada da (%22,78 ile 36,01 arasında) tespit edilmiştir[43]. Sonuçlar incelendiğinde instant maya ve kefir kullanımı ile üretilen boza örneklerinin istatistiki olarak birbirinden farklı olmadığı (P > 0.05) belirlenmiştir. Siyah havuç tozu ilave edilen bozaların kuru madde oranı, ilave edilmeyen katkısız bozaya ve turuncu havuç tozu ilave edilen bozaya göre daha yüksek bulunmuştur. Turuncu havuç tozu ilavesi katkısız boza örneği ile istatistiki olarak benzer kuru madde değerleri vermiştir.

**Tablo 3.** Boza örneklerinin KM, pH, toplam fenolik madde miktarı değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları<sup>1</sup>

(*Table 3. Multiple comparison test results of dry matter, pH and total phenolic content values of Boza samples<sup>1</sup>*)

		KM (%)	pH	TFMM (mg GAE/g)	Viskozite (Pa)
Fermantasyon	İstant maya	24,87 a	3,70 a	114,60 b	154,41 a
	Kefir kültürü	23,10 a	3,48 b	120,83 a	87,47 b
Zenginleştirme	Katkısız	20,71 b	3,84 a	25,53 c	142,54 a
	Turuncu havuç tozu	24,90 b	3,61 ab	40,06 b	118,29 b
	Siyah havuç tozu	26,34 a	3,32 b	287,55 a	102,01 c

<sup>1</sup> Aynı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (P>0.05).

Boza üretiminde, iki farklı fermantasyon gerçekleşmektedir. İlki alkol fermantasyonu, ikincisi ise laktik asit fermantasyonudur. Alkol fermantasyonunda karbondioksit gazı üretilmesiyle hacimde artış meydana gelmekte, laktik asit fermantasyonunda ise laktik asit bakterileri laktik asit fermantasyonu sonucunda karbonhidratlardan son ürün olarak laktik asit üretmekte asitlik artmakta pH düşmektedir [35].

Yapılan pH analizi sonucunda instant maya ile kefir fermantasyonu sonucu oluşan boza örneklerinin pH değerlerinde istatistiki bir değişikliğin bulunmadığı ( $P > 0.05$ ), havuç tozu ilave edilmeyen katkısız boza örneğinin daha yüksek pH değerleri verdiği ve siyah havuç tozunun pH'yı diğer boza örneklerine göre daha fazla düşürdüğü tespit edilmiştir (Tablo 3). Literatürde piyasadan temin edilip incelenen boza örneklerinin pH değerlerinin 2,98-3,42 arasında olduğunu tespit edilmiştir [43]. %15 - %25 oranında şeker ilavesi edilerek bulgur, ekme, darı, patates, pirinç, mısır ve buğday karışımından üretilen boza çalışmasında pH değerleri 2,93 ve 3,72 olarak tespit edilmiştir [44]. Bu çalışmada da boza örneklerine ait pH değerleri benzer değerler arasındadır.

Farklı mayalar kullanılarak ve zenginleştirme amacıyla havuç tozları ilave edilerek üretilen boza örneklerinde toplam fenolik madde miktarı analizi sonucunda kefir kültürü ile üretilen boza örneğinin instant mayaya kıyasla daha fazla toplam fenolik madde ihtiva ettiği, ilave edilen havuç tozlarının fenolik madde miktarında artışa neden olduğu ve siyah havuç tozu ilavesinin katkısız boza örneğine kıyasla toplam fenolik madde miktarında 10 katlık bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3).

Boza örneklerine ait viskozite değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Kefir kültürü ile fermente edilen boza örnekleri instant maya ile fermente edilen boza örneklerine göre daha düşük viskozite değerleri göstermiştir. Instant maya kullanımı daha yoğun kıvamlı bir son ürün oluşturmuştur. Zenginleştirme açısından bozalar incelendiğinde; havuç tozu ilavesinin boza kıvamını daha akışkan hale getirdiği ve viskoziteyi düşürdüğü tespit edilmiş, en düşük viskozite değerleri ise siyah havuç tozu ilavesi ile elde edilmiştir.

Duyusal değerlendirme eğitimli panelistler tarafından 1-5 arası puanlama dikkate alınarak yapılmıştır. Renk, tat ve koku parametrelerinde beğeni derecesi en fazla olan bozaya 5, en az olan bozaya 1; pürüzlülük ve ekşilik parametreleri değerlendirilirken pürüzlülük, ekşiliği en fazla olan bozaya 5, en az olana 1 vermek suretiyle değerlendirme yaptırılmıştır. Duyusal analiz sonuçları Tablo 4'de verildiği gibidir. Tat açısından kefir kültürü ilaveli boza örnekleri instant maya ilaveli olanlara kıyasla daha fazla beğeni almış, turuncu havuç ilavesi tat skorlarını katkısız boza örneğine göre düşürürken, siyah havuç tozu ilavesi en yüksek tat skorları vermiştir. Boza örnekleri koku açısından değerlendirildiğinde; kefir fermantasyonu ile üretilen boza örneklerinin diğer boza örneklerine kıyasla daha yüksek skorlar aldığı görülmektedir. İlave edilen havuç tozları koku açısından istatistiki bir farklılığa neden olmamıştır ( $P > 0.05$ ).

**Tablo 4.** Boza örneklerinin duyu özelliklerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları (1-5 puan)<sup>1</sup>  
(Table 4. Multiple comparison test results of the sensory properties of Boza samples (1-5 points)<sup>1</sup>)

		Tat	Koku	Renk	Pürüzlülük	Ekşilik	Genel Kabul
Fermantasyon	Instant maya	3,43 b	3,70 b	3,78 a	3,38 b	3,75 b	3,73 b
	Kefir kültürü	4,00 a	4,68 a	3,75 a	4,53 a	4,21 a	4,35 a
	Katkısız	3,63 b	4,20 a	3,23 b	4,05 a	3,85 b	3,93 b
Zenginleştirme	Turuncu havuç tozu	2,85 c	4,05 a	3,45 b	3,95 a	4,20 a	3,85 b
	Siyah havuç tozu	4,68 a	4,33 a	4,63 a	3,88 a	3,90 b	4,35 a

<sup>1</sup> Aynı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ( $P > 0.05$ ).

Boza örnekleri arasında fermantasyon aşamasında kullanılan instant maya ve kefir kültürü renk açısından istatistiki bir fark yaratmamış ( $P > 0.05$ ), siyah havuç tozu ilave edilerek üretilen boza örnekleri diğer boza örneklerine göre daha yüksek skorlar almıştır. Kefir kültürü kullanımı bozada instant maya kullanımına göre daha pürüzlü, kumlu bir yapıya neden olmuş, ilave edilen havuç tozlarının ise pürüzlülük üzerine istatistiki bir etkisi tespit edilmemiştir ( $P > 0.05$ ). Kefir kültürü ile üretilen boza örneklerinin instant maya ile üretilenlere kıyasla daha ekşi olduğu panelistler tarafından tespit edilmiş, turuncu havuç ilavesi ile ekşiliğin arttığı, siyah havuç kullanımının ise katkısız boza örneğine benzer ekşilik skorları verdiği tespit edilmiştir. Boza örnekleri genel kabul edilebilirlik açısından incelendiğinde; kefir ile üretilen boza örneklerinin daha fazla beğeni aldığı; siyah havuç tozu ilavesinin ise hem tat hem de renk açısından panelistler tarafından daha fazla beğeni aldığı tespit edilmiştir.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Sonuç olarak bozanın kefir kültürü kullanılarak fermente edilmesi ile geleneksel yöntemlerle üretilmiş boza örneklerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine yakın, besinsel değeri daha yüksek, duyuşal açıdan daha fazla beğenilen bir boza elde edilmiştir. Siyah havuç tozu kullanımı ile bozada göze hitap eden bir rengin oluşmasının yanı sıra toplam fenolik madde miktarının yaklaşık 10 kat arttığı tespit edilmiş, duyuşal açıdan da yüksek puanlar aldığı belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre boza üretiminde kefir kültürünün kullanımı ile besleyici değeri yüksek boza üretimi için önemli bir kaynak oluşturabileceği söylenebilir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] D. M. Martirosyan, J. Singh, A new definition of functional food by FFC: What makes a new definition unique, *Functional Foods in Health and Disease*. 5 (6) (2015), 209–223. doi:
- [2] M. Murray, A. L. Dordevic, L. Ryan, M. P. Bonham, An emerging trend in functional foods for the prevention of cardiovascular disease and diabetes: Marine algal polyphenols, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 58 (8) (2018), 1342-1358. doi: 10.1080/10408398.2016.1259209
- [3] A. E. Sloan, The top ten functional food trends, *Food Technology*. 54 (2000), 33–62. doi: 10.1371/journal.pone.0176580
- [4] D. Granato, G. F. Branco, A. G. Cruz, J. de A. F. Faria, N. P. Shah, Probiotic dairy products as functional foods, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 9 (2010), 455–70. doi:10.1111/ j.1541-4337.2010.00120.x
- [5] M. Min, C. R. Bunt, S. L. Mason, M. A. Hussain, Non-dairy probiotic food products: An emerging group of functional foods, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. (2018), 1-16. doi:10.1080/10408398.2018.1462760
- [6] K. Menrad, Market and Marketing von Funktionellen Lebensmitteln, *Agrarwirtschaft*. 49 (2000), 295-302. doi:
- [7] A. Din, M. F. J. Chughtai, M. R. K. Khan, A. Shahzad, A. Khaliq, M. A. Nasir, Nutritional and functional perspectives of barley  $\beta$ -glucan, *International Food Research Journal*. 25 (5) (2018), 1773-1784. doi:
- [8] F. Altay, F. Karbancıoğlu-Güler, C. Daskaya-Dikmen, D. Heperkan, A review on traditional Turkish fermented non-alcoholic beverages: microbiota, fermentation process and quality characteristics. *International Journal of Food Microbiology*. 167(1) (2013), 44-56. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.016
- [9] J. Hwang, J-c. Kim, H. Moon, J-y. Yang, M. Kim, Determination of sodium contents in traditional fermented foods in Korea, *Journal of Food Composition and Analysis*. 56 (2017), 110–114. doi:10.1016/j.jfca.2016.11.013
- [10] N. Şanlıer, B. B. Gökçen, A. C. Sezgin, Health benefits of fermented foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. (2017), 1-22. doi: 10.1080/10408398.2017.1383355
- [11] A. Blandino, M. E. Al-Aseeri, S. S. Pandiella, D. Cantero, C. Webb, Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Research International*. 36 (2003), 527– 543. doi: 10.1016/S0963-9969(03)00009-7
- [12] B. Kabak, A. D. Dobson, An introduction to the traditional fermented foods and beverages of Turkey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 51 (3) (2011), 248-260. doi:10.1080/10408390903569640.
- [13] P. Vitaglione, A. Napolitano, V. Fogliano, Cereal dietary fibre: A natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut, *Trends in Food Science & Technology*. 19 (9) (2008), 451–63. doi:10.1016/j.tifs.2008.02.005
- [14] İ. Çelik, F. Işık, Y. Yılmaz, Effect of roasted yellow chickpea (leblebi) flour addition on chemical, rheological and sensory properties of boza, *Journal of Food Processing and Preservation*. 40 (6) (2016), 1400-1406. doi:10.1111/jfpp.12725
- [15] M. Arici, O. Dagioglu, Boza: a lactic acid fermented cereal beverage as a traditional Turkish food, *Food Reviews International*. 18 (1) (2002), 39–48. doi:10.1081/FRI-120003416
- [16] J. LeBlanc, S. Todorov, Bacteriocin producing lactic acid bacteria isolated from Boza, a traditional fermented beverage from Balkan Peninsula—from isolation to application. *Communicating Current Research And Technological Advances*. (2011), 1311-1320.
- [17] S. D. Todorov, Bacteriocin production by *Lactobacillus plantarum* AMA-K isolated from Amasi, a Zimbabwean fermented milk product and study of the adsorption of bacteriocin AMA-K to *Listeria* sp. *Brazilian Journal of Microbiology*. 39 (1) (2008), 178–187. doi:10.1590/S1517- 83822008000100035

- [18] S. D. Todorov, Diversity of bacteriocinogenic lactic acid bacteria isolated from boza, a cereal-based fermented beverage from Bulgaria, *Food Control*. 21 (7) (2010), doi:1011–1021. doi:10.1016/j.foodcont.2009.12.020
- [19] D.D. Rosa, M.M. Dias, Ł.M. Grześkowiak, S.A. Reis, L.L. Conceição, M.D. Peluzio, Milk kefir: nutritional, microbiological and health benefits, *Nutrition Research Reviews*. 30 (2017), 82–96. doi:10.1017/S0954422416000275
- [20] C. Nouska, I. Mantzourani, A. Alexopoulos, E. Bezirtzoglou, A. Bekatorou, K. Akrida-Demertzi, P. Demertzis, S. Plessas, *Saccharomyces cerevisiae* and kefir production using waste pomegranate juice, molasses, and whey, *Czech Journal of Food Science*. 33c (2015), 277–282. doi:10.17221/351/2014-CJFS
- [21] B. O. Li, G. Xin, L. Na, M. Jun, Fermentation process of mulberry juice-whey based Tibetan kefir beverage production, *Czech Journal of Food Sciences*. 36 (6) (2019), 494-501. doi: 10.17221/468/2017-CJFS
- [22] S. Arslan, A review: chemical, microbiological and nutritional characteristics of kefir, *CyTA-Journal of Food*. 13 (3) (2015), 340-345. doi: 10.1080/19476337.2014.981588
- [23] V. Marshall, W. Cole, Methods for making kefir and fermented milks based on kefir, *Journal Dairy Research*. 52 (1985), 451–456 doi: 10.1017/S0022029900024353
- [24] D. D. Rosa, M. M. Dias, Ł. M. Grześkowiak, S. A. Reis, L. L. Conceição, G. P. Maria do Carmo, Milk kefir: nutritional, microbiological and health benefits, *Nutrition Research Reviews*. 30 (1) (2017), 82-96. doi: 10.1017/S0954422416000275
- [25] M.Y. Lee, K.S. Ahn, O.K. Kwon, M.J. Kim, M.K. Kim, I.Y. Lee, H.K. Lee, Anti-inflammatory and anti-allergic effects of kefir in a mouse asthma model, *Immunobiology*. 212 (8) (2007), 647–654. doi: 10.1016/j.imbio.2007.05.004
- [26] P. K. Singh, N. P. Shah, Other Fermented Dairy Products: Kefir and Koumiss, In *Yogurt in Health and Disease Prevention*, Academic Press. 2017.
- [27] I.F. Vujivic, M. Vulic, T. Konyves, Assimilation of cholesterol in milk by kefir cultures, *Biotechnology Letters*. 14 (1992), 847–850. doi: 10.1007/BF01029151
- [28] Ö. Özdeştan, A. Üren, Biogenic amine content of kefir: a fermented dairy product, *European Food Research and Technology*. 231 (1) (2010), 101-107. Doi: 10.1007/s00217-010-1258-y
- [29] Z. B. Guzel-Seydim, A. C. Seydim, A. K. Greene, A. B. Bodine, Determination of organic acids and volatile flavor substances in kefir during fermentation, *Journal of Food Composition and Analysis*. 13 (2000), 35–43. doi:10.1006/jfca.1999.0842
- [30] C.D. Char, Carrots (*Daucus corota*, L), Fruit and Vegetable Phytochemicals, in: *Chemistry and Human Health* (Ed. E.M. Yahia), Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, US, 2018.
- [31] FAO, Human Vitamin and Mineral Requirements. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, Bangkok, Thailand. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/a-y2809e>. (2011), accessed 04.11.2018
- [32] M. Vasudevan, K. Gunnam, M. Parle, Antinoceptive and antiinflammatory properties of *Daucus carota* seeds extracts, *Journal of Health Sciences*. 52 (2006), 598-606. doi: 10.1248/jhs.52.598
- [33] N. Khalil, M. Ashour, A.N. Singab, O. Salama, Bioassay guided fractionation and cytotoxic activity of *Daucus carota* var. *boissieri*, *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*. 4 (2018), 14-17. doi: 10.1016/j.fjps.2017.07.002
- [34] M. Ergun, Z. Süslüoğlu, Evaluating Carrot As a Functional Food. *Middle East Journal of Science*. 4 (2) (2018), 113-119. doi: 10.23884/mejs.2018.4.2.07
- [35] M. Arıcı, O. Dağlıoğlu, Boza: a lactic acid fermented cereal beverage as a traditional Turkish food, *Food Reviews Internationa*. 18 (2002), 39-48. doi: 10.1081/FRI-120003416
- [36] F.J. Francis, Colour analysis. In: Nielsen SS (ed) *Food Analysis*, Aspen Publishers, New York, 1998.
- [37] Anonim (1983). Gıda Maddeleri Muayene ve Analiz Metodları. Tarım, Orman Ve Köy İşleri Bakanlığı Gıda İşleri Genel Müdürlüğü, Yayın No: 65 Ankara
- [38] L. Gao, S. Wang, B.D. Oomah, G. Mazza, Wheat quality: antioxidant activity of wheat millstreams, In: Ng, P. and Wrigley, C.W. (eds.) *Wheat quality elucidation*. AACCI International, St. Paul, MN, USA. 2002.
- [39] T. Beta, S. Nam, J.E. Dexter, H.D. Sapiirstein, Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions, *Cereal Chemistry*. 82 (2005), 390-393. doi: 10.1094/CC-82-0390
- [40] K. Slinkard, V. L. Singleton, Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods, *American Journal of Enology and Viticulture*. 28 (1) (1977), 49-55. doi: 10.12691/wjac-3-1A-3
- [41] N. Gamez-Meza, J. A. Noriega-Rodríguez, L. A. Medina-Juarez, J. Ortega-Garcia, R. Cazarez-Casanova, O. AnguloGuerrero, Antioxidant activity in soybean oil of extracts from Thompson grape bagasse, *Journal of the American Oil Chemists Society*. 76 (1999), 1445-1447. doi: 0.1007/s11746-999-0182-4

- [42] Ç. Konak, Yoğurt Kùltürü İle Birlikte Kullanılan Probiyotik ve Eksopolisakkarit Oluřturan Mikroorganizmaların Yulaf Bozasının Bazı Kalitatif Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, 2008.
- [43] M.Y. Tortum, Trakya Bölgesinde üretilen bozalardan laktik asit bakterileri ve mayaların izolasyonu ve PZR yöntemi ile tanımlanması, *Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı*, Tekirdağ, 2018.
- [44] N.S. Üstün, M. Evren, Değişik hammaddelerden boza üretimi ve üretilen bozaların bileşimi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakùltesi Dergisi*. 13 (1998), 95–106.

# Farklı Stabilizasyon İşlemleri Uygulanmış Buğday Ruşeymlerinin Depolama Özellikleri

Mustafa Kürşat DEMİR<sup>1\*</sup>, Nermin BİLGİÇLİ<sup>1</sup>, Selman TÜRKER<sup>1</sup>, Berat DEMİR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 42090, Meram, Konya, Türkiye

<sup>2</sup> Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü, 42030, Karatay, Konya, Türkiye

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

(Geliş/Received: 02.06.2019; Kabul/Accepted: 29.06.2019; Online baskı/Published online: 09.12.2019)

## ÖZET

Buğday ruşeymi, buğday tanesinin besinsel açıdan en üstün bileşenidir. Buna rağmen, değirmencilik sektörü için buğday ruşeymi başlıca yan ürünlerden birisidir. Buğday ruşeymi, doymamış yağ asitlerince zengindir ve sahip olduğu yüksek enzim aktivitesi oksidasyon/acılaşma reaksiyonları neden olarak, ürünün depolama kalitesini düşürür. Bu nedenle, insan beslenmesinde yeri oldukça sınırlı olan buğday ruşeyminin büyük bir kısmı, özellikle hayvan beslenmesinde ve diğer amaçlar için kullanılır. Bu çalışmada, buğday ruşeymi beş (5) farklı stabilizasyon işlemine (kuru kavurma, otoklavlama, mikrodalga, infrared ve Ultraviyole-C) tabi tutularak, 3 farklı depolama koşulunda (buzdolabı şartlarında (4-6°C), oda sıcaklığında (24 ± 1°C) ve vakum paketleme), 3 farklı depolama süresinde (0., 90. ve 180. gün) saklanmış, bu süreler sonunda stabilizasyon özellikleri belirlenmiştir. Stabilize edilmiş buğday ruşeymi örneklerinde toplam maya-küf yükü, peroksit değeri, p-anisidin değeri ve tokoferol ( $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$ ) içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; stabilize edilmiş buğday ruşeymlerine, vakum ambalajlama yapılması gerektiği, stabilizasyon metodu olarak da ısı işlemlerden otoklav ve ısı olmayan işlemlerden ise ultraviyole-C işleminin etkili sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Buğday ruşeymi, stabilizasyon, otoklav, mikrodalga, infrared, Ultraviyole-C

## Storage Properties of Wheat Germ Applied of Different Stabilization Processes

### ABSTRACT

Wheat germ is the component of wheat kernel with the highest nutritional value. In spite of this, wheat germ is one of the main by-products of milling industries. Wheat germ is rich in polyunsaturated fatty acids and decreases storage quality due to oxidation/rancidity reactions coming from its high enzyme activity. For this reason, the human consumption of wheat germ is very limited, since the major part of it is used for other purposes and especially animal feeding. The aim of this study was to investigate the stabilization of wheat germ and improve storage stability. In the experiments related with wheat germ storage stability, wheat germs was treated with five different stabilization applications (dry heating, autoclaving, microwave, infrared and Ultraviolet-C), stored in three different conditions (refrigerator (4-6°C), room temperature (24±1°C) and vacuum packaging). Stabilization tests were conducted at 0<sup>th</sup>, 90<sup>th</sup>, and 180<sup>th</sup> days of storage. Mold-yeast growth, peroxide value, p-anisidine value and tocopherol ( $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$ ) contents of the stabilized wheat germ were measured. According to the results obtained, it was determined that stabilized wheat germs should be vacuum-packed, and that autoclave as a thermal treatment and ultraviolet-C process as a non-thermal treatment were the stabilization methods that were determined to produce effective results.

**Key Words:** Wheat germ, stabilization, autoclave, microwave, infrared, ultraviolet-C.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Buğday tanesi, yaklaşık %8 kabuk, %7 aleuron, %3 ruşeym ve %82 unsu endosperm tabakalarından oluşmaktadır. Kabuk (perikarp + testa) özellikle selüloz, mineraller ve pigmentler; aleuron tabakası besin değeri yüksek ve suda eriyebilir karbonhidratlar, proteinler, mineraller, lipitler, vitaminler (özellikle B grubu vitaminler) ve fenolikler; ruşeym kısmı ise aleuron gibi suda çözünürlüğü yüksek proteinler, lipitler, şekerler, enzimler ve E vitaminince zengindir [1].

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: mkdemir@erbakan.edu.tr / Tel: +90 332 325 2024



Ruşeymin bileşimi; buğday çeşidine, tane büyüklüğüne, elde edilmiş yöntemine ve saflık derecesine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir [2]. Ticari değirmenlerde yaklaşık olarak %0,5-1,5 arasında ruşeym elde edilebilmektedir [3]. Buğday ruşeymi buğday ununa göre, daha fazla protein (3 kat), yağ (7 kat), şeker (15 kat), mineral madde (6 kat) içeriğine sahiptir [4,5]. Ayrıca bitkisel kökenli proteinlere bakıldığı zaman mükemmel bir protein deposu sayılan yumurtaya en yakın ürün olduğu düşünülmektedir [2]. İçerdiği proteinin biyolojik değeri, hayvansal kaynaklı proteinlere yakın olup, protein elverişlilik oranı yüksektir [6].

Ruşeym, buğday tanesinin yağ bakımından da en zengin kısmı olup, yaklaşık %10 civarında yağ içermektedir. Ruşeym yağı, özellikle iki veya üç çift bağ içeren doymamış yağ asitleri bakımından zengin olup, yaklaşık olarak %80 oranında linoleik asit (18:2) ve linolenik asite (18:3) sahiptir [7,8]. Toplam doymuş yağ asitlerinin %73,5'ini ise palmitik asit oluşturmaktadır [6]. Buğday ruşeymi esansiyel yağ asitleri bakımından oldukça zengindir [9]. Ruşeym yağının tüm bitkisel yağlar içerisinde, en yüksek  $\alpha$ -tokoferol konsantrasyonuna sahip olduğu da bilinmektedir [10]. Antioksidan özellikleri ile ön plana çıkan ruşeym yağı, birçok doğal gıdada, sağlık sektörü ve kozmetik ürünlerinde kullanılmaktadır [11]. Ruşeymin bünyesindeki karbohidratların çoğunu şekerler oluşturmaktadır. Ruşeymde bulunan şekerlerin yaklaşık %80-85'inin sakaroz, %15-20'sini de fermente olmayan şekerler oluşturmaktadır [6]. Buğday ruşeymi diğer hububatlarla nazaran daha yüksek oranda E vitamini içermektedir. Ruşeym 250-500 ppm arasında ve ortalama 332 ppm  $\alpha$ -tokoferol içeriğine sahiptir. Ruşeym undan 25 kat daha fazla; buğdayın tamamından ise 5 kat daha fazla tiamin ve riboflavin içermektedir [2]. Ruşeymin içerdiği vitaminler arasında; karoten (0,2 mg), pentotonik asit (1,0 mg), E-vitamini (0,7 mg), piridoksin (0,3 mg), niasin (4,5 mg) ve folik asit (0,5 mg) bulunmaktadır [2]. Yapılan araştırmalarda buğday ruşeyminde makro ve mikro mineral maddelerin (N, P, K, Mg, Ca, Na, Mn, Zn, Fe ve Cu) yoğun olarak bulunduğu ortaya konulmuştur [12,13].

Buğday ruşeyminin bu eşsiz besinsel özelliklerinin yanı sıra düşük depolama stabilitesi ve anti-besinsel etkileri gibi bazı olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Bunlardan birkaçı özetlenecek olursa;

- ✓ Ruşeymin sahip olduğu lipaz ve lipoksigenaz enzimleri, yine doğal olarak bünyesinde bulunan doymamış yağ asitlerine etki ederek, ransid tat oluşumuna neden olmaktadır. Bu da son ürün kalitesini bozmaktadır [7,14].
- ✓ Yüksek besinsel içeriği ile mikroorganizmalar içinde önemli bir besin kaynağı olarak görülmektedir. Tabiatı gereği kolay topaklanabilmekte, fermente olabilmekte ve hızlı bir şekilde küflenebilmektedir [14].
- ✓ Pankreatik enzimler ile sindirilemeyen fakat kalın bağırsaktaki bakteriler tarafından metabolize edilebilen bileşenlere (özellikle de rafinoz) sahip olması nedeniyle, insan mide ve bağırsaklarında gaz sıkışmaları gibi bazı rahatsızlıklara neden olabilmektedir [15].
- ✓ Mevcut bileşenlerinden bir olan fitik asitin mineral biyoyararlılığına olumsuz etkisi bilinmektedir [16].

Bu nedenle ruşeymin stabilizasyonu depolama süresinin uzatılabilmesi açısından önemli olduğu kadar, son ürünün besinsel kalitesinin artırılması açısından da önemli bir role sahiptir [4,5]. Bu amaçla yapılan stabilizasyon çalışmalarının çoğu patentli çalışmalar olup, oldukça değerlidir. Literatür bilgilerine göre; otoklavlama, fırınlama, kavurma, kuru ısıtma işlemi, infrared ısıtma, antioksidan maddeler ile muamele ve mikrodalga uygulamaları gibi farklı metotlar buğday tanesinin kepek ve özellikle de ruşeym kısmına uygulanarak stabilizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir [17-21]. Ticari uygulamaların birçoğu incelendiğinde ise, ruşeym stabilizasyonlarında genellikle kuru ısıtma işlemlerin tercih edildiği görülmektedir. Kuru ısıtma, son üründe tat, aroma ve renk gibi bazı değişikliklere neden olmasının yanında enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları sonucunda, besinsel özelliklerde özellikle de esansiyel aminoasitlerde azalmaya sebep olmaktadır [22]. Bu nedenle gıda üreticileri gıdanın raf ömrünü uzatabilmek ve besin değerini koruyabilmek için yeni teknoloji ve yöntem arayışına girerek bazı teknolojileri uygulamaya başlamışlardır [23,24]. Mevcut teknolojilere alternatif yeni gıda işleme teknolojileri geliştirilirken, ürün kalitesinin iyileştirilmesinin yanı sıra zaman ve enerji tasarrufunun da sağlanması amaçlar arasındadır [25].

Bu çalışmada; zengin besin içeriğine sahip olan ve genellikle hayvan beslenmesinde değerlendirilen buğday ruşeymi için, en uygun stabilizasyon normu ve şartlarının belirlenerek; besin değeri kayıpları minimum düzeyde olacak şekilde, daha uzun raf ömründe, insan beslenmesinde kullanılması bilimsel açıdan incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Materyal (Material)

Buğday ruşeymi örnekleri ticari bir un değirmeninden (Selva Un A.Ş., Konya, Türkiye) temin edilmiştir. Buğday ruşeymlerinin beklememiş ve taze olması için, değirmendeki un öğütme işleminin hemen ardından temin edilmiştir.

## 2.2. Deneme Planı (Experimental Plan)

Ruşeym stabilitesi denemelerinde; 5 farklı stabilizasyon işlemi (kuru kavurma, otoklav, mikrodalga, infrared ve ultraviyole-C) uygulanan ham ruşeym örnekleri, 3 farklı depolama koşulunda (buzdolabı şartlarında (4-6°C); oda sıcaklığında ( $24 \pm 1^\circ\text{C}$ ), vakum paketlenme), 3 farklı depolama süresinde (0, 90 ve 180. gün) saklanmış ve depolama stabilitesi özellikleri incelenmiştir. Örneklerin 2/3'lük kısmı kilitli ambalaj poşetlerine konulmuş, bu örneklerin yarısı oda sıcaklığında, diğer yarısı da buzdolabı şartlarında depolamaya alınmıştır. 1/3'lük kısmı ise vakum paketlenme yapılarak oda sıcaklığında depolamaya alınmıştır. Böylece farklı depolama koşulları için, 3 farklı örneklem yapılmış ve depolama süreleri sonlanana kadar saklama koşulları bozulmaksızın ve ambalajları açılmadan depolamaları gerçekleştirilmiştir. Depolama süreleri sonlarında yapılan analizlerinde elde edilen tüm veriler, tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre, 2 tekerrürlü olarak ( $5 \times 3 \times 3 \times 2$ ) değerlendirilmiştir.

## 2.3. Stabilizasyon İşlemi (Stabilization Process)

Stabilizasyon işlemi normları, daha önce Elgün vd. [26] tarafından yürütülen bir çalışmanın sonuçlarına göre belirlenmiştir. Stabilizasyon işlemi uygulanmadan önce tüm ruşeym örnekleri, çekiçli değirmende (FN-3100 Laboratuvar Değirmeni, Perten Instruments, AB, Huddinge, İsveç) 500 µ göz açıklığına sahip elek sistemi kullanılarak öğütülmüştür. Boyut kontrolü amacıyla da, öğütülmüş tüm ruşeym örnekleri, 500 µ'luk bir elek yardımıyla elenerek, denemelerde kullanılmıştır. Stabilizasyon amacıyla uygulanan normlar aşağıdaki şekilde olup, stabilizasyon normları (otoklav stabilizasyon hariç) IR-termometre (Ebro TLC730, Almanya) ile tespit edilmiştir.

- Kuru kavurma** ile Stabilizasyon: Ruşeym örneklerinin (100 g) materyal iç sıcaklığı  $100^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra, bu sıcaklıkta 1 dk bekletilmesi ile bu stabilizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Kuru kavurma amacıyla kurutma fırını (Nüve KD-200, Ankara, Türkiye) kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı  $160^\circ\text{C}$ 'ye ayarlanmış olup, stabilizasyon normlarına ulaşma süresi ise, 23-25 dk olarak tespit edilmiştir.
- Otoklavda** Stabilizasyon: Ruşeym örnekleri (100 g), otoklavlanabilir poşetler içinde nem almayacak şekilde ağzıları sıkı şekilde bağlanmış halde, otoklavda (Daihan WAC-60, Kore),  $121^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra, 15 dk bekletilerek stabilize edilmiştir.
- Mikrodalga** Stabilizasyon: Ruşeym örnekleri (100 g), 600 Watt gücündeki mikrodalga fırında (LG Solardom, Seul, Kore), 3 mm derinliğinde olacak şekilde cam bir kap içerisine yayılmış ve işleme tabi tutulmuştur. Stabilizasyon işlemi, ruşeym örneklerinin sıcaklığı  $70^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra, ısıtma olmaksızın 1 dk daha mikrodalga fırın içerisinde kapağı kapalı şekilde bekletilerek yapılmıştır. Mikrodalga stabilizasyon normlarına ulaşma süresi ise yaklaşık 5 dk olarak tespit edilmiştir.
- Infrared** Stabilizasyon: 100 g'lık partiler halinde ve 3 mm derinliğinde olacak şekilde cam ve altındaki ayna düzeneğinden oluşan bir platforma yayılan ruşeym örnekleri, infrared lamba (Philips, IR-250R 250 W, Hollanda) vasıtasıyla, 25 cm uzaklıktan, ürün içi sıcaklığı  $70^\circ\text{C}$ 'ye ulaşmaya kadar ısıtılmış, bu sıcaklık derecesinde ulaştıktan sonra da 1 dk daha bekletilerek infrared stabilizasyonu gerçekleştirilmiştir.
- Ultraviyole-C** Stabilizasyon: Kapalı bir düzenek ortamında, UV-C (Philips TUV-8W G8T5, 254 nm, Polonya) vasıtasıyla, 3 mm derinliğinde yayılan ruşeym örnekleri, 25 cm uzaklıktan 3 dk süre ile ultraviyole-C ışınlarına tabi tutulmuştur.

Infrared ve Ultraviyole-C stabilizasyon işlemleri paslanmaz çelikten imal edilmiş korumalı bir kabin içerisinde gerçekleştirilmiştir. Kabinin üst kapağı sökülüp takılabilen yapıda olup, ultraviyole-C ve infrared lambalarının takılabileceği bir elektrik tesisatına da sahiptir. Ayrıca bu kabin içerisinde her iki lambanın (Ultraviyole-C ve Infrared) boyutlarından kaynaklı farklılıkları minimize etmek için, yine paslanmaz çelikten yapılmış, aşağı ve yukarı yüksekliği ayarlanabilen bir paslanmaz çelik platform dizayn edilmiş ve kabin içerisine yerleştirilmiştir. Stabilizasyon işlemleri ise; ruşeym örneği, cam ve ayna ile birlikte, bu platformun üzerine konularak gerçekleştirilmiştir. Daha homojen ve etkin bir stabilizasyon sağlanması için; infrared ve ultraviyole-C stabilizasyon işlemleri uygulanmadan evvel, ruşeym örnekleri 100 g'lık partiler halinde;  $0,2 \times 20 \times 20$  cm ebatlarına sahip cam bir platformun üzerine, derinliği 3 mm'yi geçmeyecek şekilde düzgün bir şekilde yayılmıştır. Ruşeym örneklerinin aralarında ise, uygulanan infrared ve ultraviyole-C ışınlarının, materyalin alt kısımlarına da etki edebilmesi amacıyla, yaklaşık  $1 \text{ cm}^2$ 'lik boşluklar bırakılmıştır. Cam platformun alt kısmına ise, yine aynı ebatlara sahip bir ayna düzeneği yerleştirilmiştir.

## 2.4. Küf-Maya Yükü (Mold-Yeast Count)

Küf ve maya yükünün tespiti için, her bir ham ruşeym örneğinden aseptik koşullarda 10 g tartılarak içinde 90 ml %0,85'lik fizyolojik tuzlu su bulunan steril poşete konulmuş ve stomacher ile 5 dk homojenize edilmiştir. Elde edilen  $10^{-1}$ 'lik dilüsyondan 1 ml alınarak, içinde 9 ml dilüsyon sıvısı bulunan tüpe ilave edilmiş, işlem aynı şekilde tekrarlanarak seri dilüsyonlar elde edilmiştir. Küf-maya yükünü belirlemek için, hazırlanan dilüsyonlardan 0,1 ml

alınarak Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar'a (DRBC) paralelli olarak, yüzeye yayma yöntemi ile ekim yapılmış, petri kapları 25°C'de 5 gün inkübasyona bırakılmıştır. Bu sürenin sonunda küf ve maya sayımı yapılmıştır [27]. Sonuçlar log kob/g olarak verilmiştir.

### 2.5. Peroksit Değeri (Peroxide Values)

Peroksit analizinde AOCS [28]'nin yöntemi uygulanmıştır. Ham ruşeym örneklerindeki yağ, n-hekzan ile ekstrakte edilmiş, daha sonra asetik asit/kloroform (3/2) çözeltisi eklenerek, karanlıkta potasyum iyodür çözeltisi ile reaksiyona bırakılmıştır. Daha sonra açığa çıkan iyot, 0,01 N sodyum tiyosülfat çözeltisine karşı titre edilmiştir.

### 2.6. p-Anisidin Değeri (p-Anisidine Values)

p-anisidin değeri, AOCS [28]'a göre gerçekleştirilmiştir. Ham ruşeymlerden ekstrakte edilen yağ örnekleri, 25 ml'lik balon jöjeye yaklaşık 0,5 g tartıldıktan sonra izooktan ile tamamlanarak çözülmüştür. Ardından da bu çözümden 5 ml bir test tüpüne alınmış, absorbanı (Ab), izooktan kör olarak kullanarak, spektrofotometrede (Libra S60, Biochrom Ltd., Cambridge, İngiltere) 350 nm dalga boyunda okunmuştur. Daha sonrada aynı yağ çözeltisinden bir test tüpüne 5 ml alınmış, üzerine glasiyel asetik asit içinde hazırlanan p-anisidin çözeltisinden (0,25 g p-anisidin/100 ml glasiyel asetik asit) 1 ml ilave edilmiş ve 10 dk bekletildikten sonra, 350 nm dalga boyunda bu çözeltinin de absorbanı (As) okunmuştur. Daha sonrada belirlenen bu veriler kullanılarak, ruşeym yağlarının p-anisidin değerleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$p-AV = 25 (1,2As - Ab) / m$$

p-AV = para anisidin değeri

As = p-anisidin reaktifi ile reaksiyondan sonraki yağ çözeltisinin absorbanı

Ab = yağ çözeltisinin absorbanı

m = yağ örneğinin kütlesi (g)

### 2.7. Tokoferol İçeriği (Tocopherol content)

Tokoferol konsantrasyon analizi, yüksek performanslı sıvı kromatografisi (Agilent 1260, Agilent Technologies, Almanya) cihazı kullanılarak, IUPAC 2.432 [29]'ye göre belirlenmiştir. Analizlerde Fotodiode Array Dedektör kullanılmış olup, 295 nm de okumalar yapılmıştır. 1,0 g buğday ruşeymi yağ örneği, 10 mL mobil fazda [hekzan:izopropanol (99,5:0,5 v/v)] çözüldürülüp kolona (HICHROM, Lichrosorb, Si-60, 250 mm uzunluk, 4,6 mm iç çap, 5 µm gözenek çapı) enjekte (20 µL) edilmiş, akış hızı da 1mL/dk.'ya ayarlanmıştır. Kullanılan standart maddeler şunlardır, α-tokoferol, β-tokoferol ve γ-tokoferol (Calbiochem, Darmstadt, Almanya). Sonuçlar, altı farklı konsantrasyonda hazırlanmış belirli standartların çözümlerinin verdiği sonuçlardan oluşturulan doğruya göre hesaplanmış olup, mg/kg yağ cinsinden verilmiştir.

### 2.8. İstatistik Analizler (Data Analysis)

Araştırma sonunda elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuş, farklılıkları istatistiki olarak önemli bulunan ana varyasyon kaynaklarının ortalamaları ise Duncan çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır. İstatistik analiz sonuçları, tablolar halinde özetlenmiş, önemli bulunan interaksiyonlar ise şekiller üzerinde tartışılmıştır [30].

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

### 3.1. Küf-Maya Yüğü (Mold-Yeast Count)

Farklı stabilizasyon işlemleri uygulanan buğday ruşeymlerinin, küf- maya yüğü özelliklerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e göre; oda şartlarında depolanmış stabilize ruşeym örneklerinin (2,33 log kob/g), vakum ambalaj içerisinde depolanmış örneklere (1,38 log kob/g) göre daha fazla küf-maya yüküne sahip olduğu tespit edilmiştir. Buzdolabı şartlarında depolanmış ruşeym örneklerinin, küf-maya yüklerinin ise 1,88 log kob/g olduğu belirlenmiştir. Depolama süresi ile de küf-maya yüğü artmıştır. Başlangıçta 1,33 log kob/g olan küf-maya yüğü, 90. gün sonunda 1,99 log kob/g'a, 180. gün sonunda ise 2,27 log kob/g'a çıkmıştır. Farklı stabilizasyon işlemleri, küf-maya yüğü değişimlerine farklı etkilerde bulunmuştur. En yüksek küf-maya yüğü infrared stabilizasyonu ile elde edilmişken, mikrobiyal yükün azaltılması açısından en etkili sonuçların sırasıyla otoklav (1,66 log kob/g), ultraviyole-C (1,78 log kob/g) ve mikrodalga (1,90 log kob/g), stabilizasyon işlemleri ile elde edilebildiği ortaya konulmuştur.

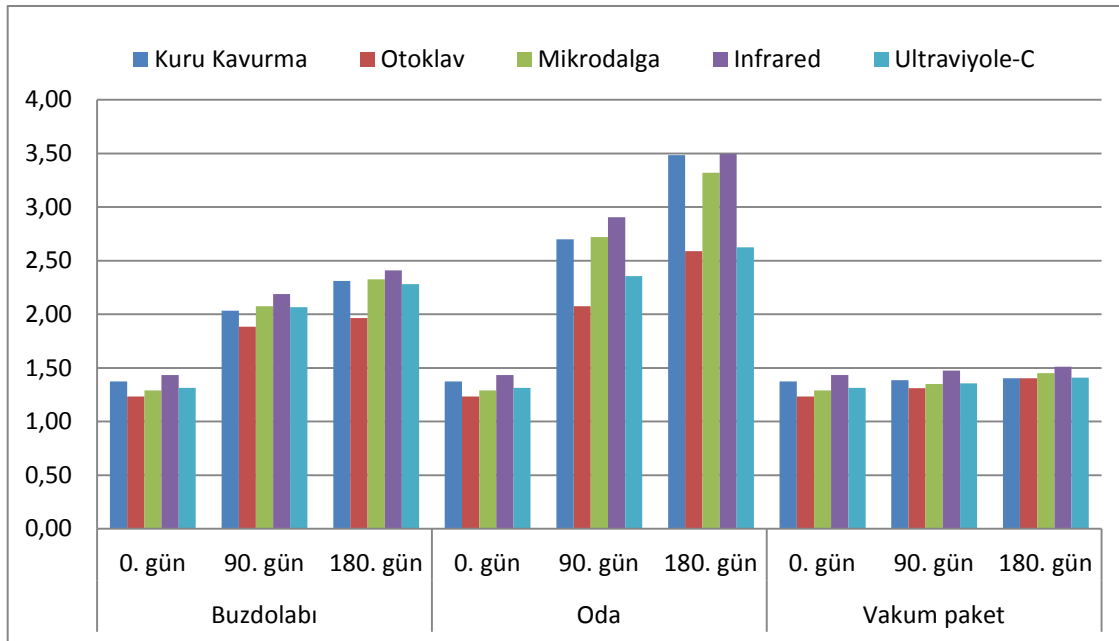
Varyans analizi sonuçlarına göre, istatistiki olarak önemli ( $P < 0,01$ ) bulunan, ruşeym örneklerinin küf-maya yüğü değişimleri üzerine etkili "Depolama koşulu x Depolama süresi x Stabilizasyon metodu" interaksiyonu Şekil 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1. Ruşeym örneklerinin küf-maya yükü<sup>1</sup>**  
(Table 1. Mould-yeast count of wheat germ)<sup>1</sup>

	N	Küf- Maya Yükü (log kob/g)
<b>Depolama Koşulu</b>		
Buzdolabı	30	1,88 b
Oda	30	2,33 a
Vakum paket	30	1,38 c
<b>Depolama Süresi</b>		
0.Gün	30	1,33 c
90.Gün	30	1,99 b
180.Gün	30	2,27 a
<b>Stabilizasyon Metodu</b>		
Kuru Kavurma	18	1,94 b
Otoklav	18	1,66 e
Mikrodalga	18	1,90 c
İnfrared	18	2,03 a
Ultraviyole-C	18	1,78 d

<sup>1</sup>Aynı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (P>0.05).

Şekil 1'de; depolama süresi arttıkça, özellikle buzdolabı ve oda koşullarında depolanan örneklerde küf-maya yükünün arttığı açıkça görülmektedir. Ruşeym tabakası buğday tanesinin atmosferik şartlara açık olan kısmı olması nedeniyle, mikrobiyolojik ve kimyasal kontaminasyonlara kolaylıkla maruz kalabildiği için [31], başlangıç mikrobiyal yüküne bağlı olarak depolama ile küf-maya yükünün artması doğaldır. Ayrıca küf- maya gelişimi için, ortam şartları oldukça önemlidir. Vakum paketleme yapılmış ruşeym örneklerinin hava ile teması kesildiği için, küf-maya yükü başlangıç değerlerine yakın izlemiştir. Oda şartlarında ise, küf- maya gelişimi en fazla olmuştur. Küf- maya gelişimi için oda sıcaklıklarının ideal bir ortam olduğu düşünüldüğünde, oda şartlarında depolanan ruşeym örneklerinin en yüksek artış göstermesi beklenen bir sonuçtur. Ayrıca otoklav ve ultraviyole-C stabilizasyon işlemlerinin, küf- maya yükü üzerinde oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. Birçok literatür çalışmasına bakıldığında, hem stabilizasyon ve hem de dezenfeksiyon yöntemi olarak kullanılan mikrodalga, otoklav, ultraviyole ve infrared işlemlerinin mikrobiyal yükü azaltıcı etkisinin ortaya konduğu görülmektedir [32-35]. Bu çalışmada da ruşeymin küf-maya yükü üzerinde; infrared ve kuru kavurma gibi stabilizasyon işlemlerinin yerine, otoklav ve Ultraviyole-C'nin daha etkin olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1 ve Şekil 1).



**Şekil 1. Ruşeym örneklerinin küf-maya yükü değişimleri (log kob/g)**  
(Figure 1. Changes in mold-yeast count of the wheat germ samples (log cfu/g))

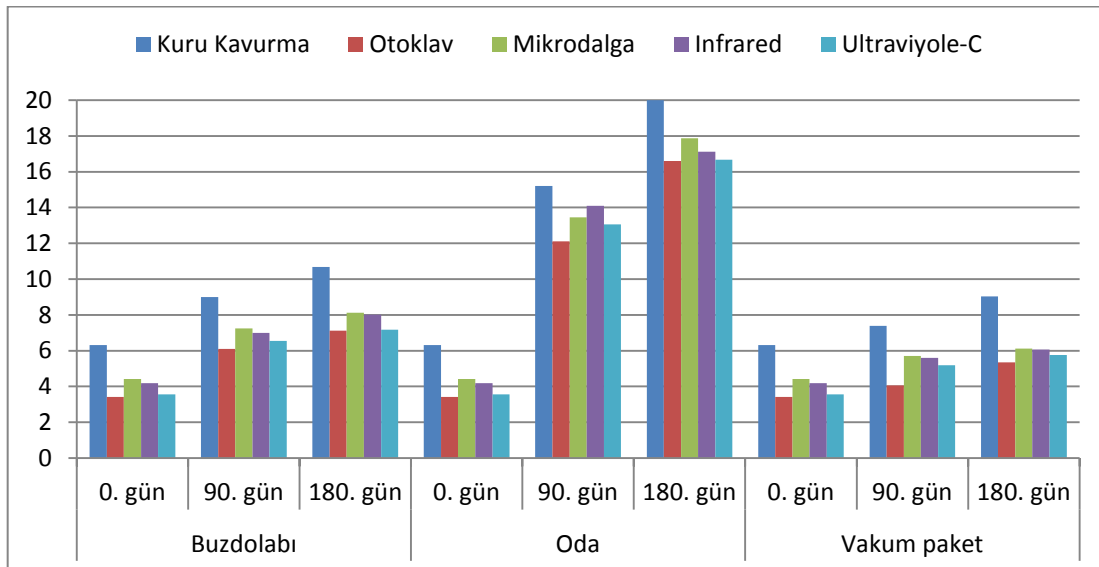
### 3.2. Peroksit, P-Anisidin ve Tokoferol İçeriği (Peroxide, P-Anisidine and Tocopherol Content)

Farklı stabilizasyon işlemleri uygulanmış buğday ruşeymlerden elde edilen ham yağların depolama stabilitesi özelliklerine (peroksit, p-anisidin ve tokoferol ( $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$ ) içeriği) ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'ye göre; ruşeym stabilizasyonu açısından en etkili depolamanın vakum paketleme olduğu belirlenmiştir. Gerek peroksit ve p-anisidin değerlerinin daha düşük olması, gerekse tokoferol içeriğinin daha fazla olması bir başka ifade ile korunması vakum paketlemeyi daha etkin kılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre, oda sıcaklığında depolanmış ruşeymlerden ekstrakte edilen yağların stabilitesi en fazla değişim göstermiştir. Ayrıca depolama süresi ve stabilizasyon işlemleri de, ruşeym stabilizasyonu üzerinde etkili olmuştur. Depolama süresinin artması ile peroksit değerleri ve p-anisidin değerleri artmıştır. Bu değerlerdeki artışlarla beraber ters orantılı olarak  $\alpha$ -,  $\beta$ - ve  $\gamma$ - tokoferol içerikleri azalmıştır. Capitani vd. (2011) yapmış oldukları çalışmalarında; buğday ruşeym yağlarının 45°C'de depolama ile peroksit değerlerinin 6,11 meq/kg'a ulaştığını, depolama süresiyle peroksit değerlerin arttığını ve  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$ - tokoferol içeriklerinin azaldığını bildirmişlerdir. Stabilizasyon işlemlerinin etkisi ise farklı olmuştur. Ruşeym stabilitesi açısından en iyi ve olumlu sonuçları, küf-maya yükü değişimlerinde olduğu gibi, otoklav ve Ultraviyole-C stabilizasyon işlemleri vermiştir. En olumsuz veriler ise, kuru kavurma işleminde elde edilmiştir (Tablo 2). Varyans analizi sonuçlarına göre, istatistiki olarak önemli ( $P < 0,01$ ) bulunan, ruşeym örneklerinin peroksit değerleri üzerine etkili "Depolama koşulu x Depolama süresi x Stabilizasyon metodu" interaksyonu Şekil 2'de, tokoferol ( $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$ ) içeriklerine stabilizasyon işlemlerinin etkisi ise Şekil 3'te gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Ruşeym yağlarının depolama stabilitesi özellikleri<sup>1</sup>  
(Table 2. Storage stability properties of wheat germ oils)<sup>1</sup>

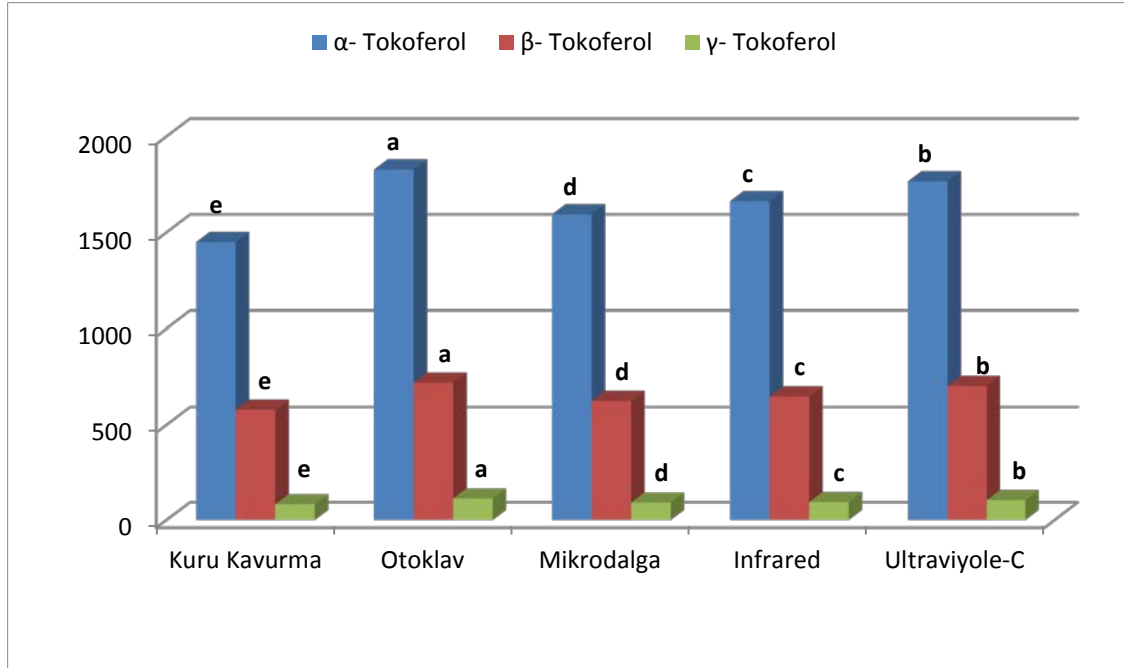
	N	Peroksit değeri (meq O <sub>2</sub> /kg)	P-Anisidin Değeri	$\alpha$ -Tokoferol (mg/kg)	$\beta$ -Tokoferol (mg/kg)	$\gamma$ -Tokoferol (mg/kg)
<b>Depolama Koşulu</b>						
Buzdolabı	30	6,59 b	11,72 b	1652,03 b	647,23 b	94,33 b
Oda	30	11,99 a	13,40 a	1580,73 c	620,37 c	92,83 c
Vakum paket	30	5,47 c	5,45 c	1747,43 a	697,87 a	105,27 a
<b>Depolama Süresi</b>						
0.Gün	30	4,37 c	4,31 c	1867,60 a	755,20 a	113,60 a
90.Gün	30	8,78 b	12,12 b	1632,70 b	655,20 b	91,57 b
180.Gün	30	10,90 a	14,14 a	1479,90 c	555,07 c	87,27 c
<b>Stabilizasyon Metodu</b>						
Kuru Kavurma	18	10,24 a	14,77 a	1449,56 e	579,00 e	82,94 e
Otoklav	18	6,84 e	8,72 e	1827,61 a	720,39 a	113,06 a
Mikrodalga	18	7,96 b	9,37 b	1594,22 d	624,78 d	92,11 d
İnfrared	18	7,83 c	9,14 c	1662,56 c	647,94 c	94,44 c
Ultraviyole-C	18	7,23 d	8,94 d	1766,39 b	703,67 b	104,83 b

<sup>1</sup>Aynı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ( $P>0.05$ ).



**Şekil 2.** Ruşeym örneklerinin peroksit değerleri (meq O<sub>2</sub>/kg) değişimleri  
(Figure 2. Changes in peroxide values (meq O<sub>2</sub>/kg) of wheat germ samples)

Yağların oksitlenme derecelerini belirlemek için kullanılan en yaygın ve en eski analiz yöntemi peroksit değerleridir. Peroksit değeri (sayısı), yağın muhafaza durumunun kalitatif bir göstergesidir. Yağın oksijen, ısı, ışık, gibi elverişsiz ortamlarda ya da bu ortamların geçişini sağlayacak saydam ambalajlarda bulunması oksidasyonu, dolayısıyla peroksit sayısını arttırmaktadır [37,38]. Şekil 2'ye bakıldığında; vakum paketleme yapılmış stabilize ruşeymlerden ekstrakte edilen ham yağ örneklerin peroksit değerlerin daha düşük olduğu, depolama süresi ile tüm ruşeym örneklerinin peroksit değerlerinin arttığı ve kuru kavurma stabilizasyonda daha yüksek peroksit değerlerinin elde edildiği belirlenmiştir. Ham yağ örneklerinin tokoferol değişimlerini ifade eden Şekil 3 incelendiğinde ise; en etkili ve olumlu sonuçlar otoklav ile yapılan stabilizasyonlarda, en olumsuz ve en düşük tokoferol içerikleri ise kuru kavurma stabilizasyon işlemlerinde elde edilmiştir. Bunda da, kuru kavurma işleminde, diğer stabilizasyon uygulamalarına nazaran daha yüksek sıcaklık derecelerinin daha uzun süre uygulanmış olması etkili olmuştur.



Şekil 3. Ruşeym örneklerinin  $\alpha$ -,  $\beta$ - ve  $\gamma$ - tokoferol (mg/kg) içeriklerine stabilizasyon metotlarının etkisi  
(Figure 3. Effect of stabilization methods on  $\alpha$ -,  $\beta$ - and  $\gamma$ -tocopherol (mg/kg) contents of wheat germ samples)

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada; farklı stabilizasyon işlemlerinin (kuru kavurma, otoklav, mikrodalga, infrared ve ultraviyole-C) ile elde edilen stabilize ruşeym örnekleri, farklı depolama koşulları (oda sıcaklığı, buzdolabı ve vakum ambalaj) ve sürelerinde (0, 90 ve 180 gün) saklanmış ve bu koşullardaki depolama stabilitesi özellikleri incelenmiştir. 180 günlük depolama süresince, en iyi depolama koşullarının vakum ambalajlanmış örneklerde elde edildiği gözlemlenmiştir. Yağların oksidasyonun da sıcaklık ve oksijen (hava) oldukça önemli rol oynadığından; vakum ambalajlanmış ruşeym örneklerinde hava ile olan teması sonlandırıldığı için, daha az yağ oksidasyonu gerçekleşmiş ve daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak; stabilize edilmiş buğday ruşeymlerinde, vakum ambalajlama yapılması gerektiği, stabilizasyon metodu olarak ısı işlemlerden otoklav ve ısı olmayan işlemlerden ise ultraviyole-C işleminin etkili sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, TÜBİTAK-TOVAG tarafından 113 O 452 numaralı proje ile desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Elgün, Z. Ertugay, Tahıl İşleme Teknolojisi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:718, Erzurum, 1995.
- [2] S.A. Shurpalekar, P.H. Rao, Wheat germ, *Advances in Food Research*. 23 (1977), 187-304. doi:10.1016/S0065-2628(08)60329-8

- [3] Ü. Çakmaklı, E. Köse, K. Kemahlıoğlu, Ham ve stabilize ticari buğday ruşeyminin bir katkı maddesi kombinasyonu ile birlikte katımının hamur ve ekmek niteliklerine etkileri, *Gıda*. 20 (4) (1995), 243-248.
- [4] A.K. Srivastava, M.L. Sudha, V. Baskaran, K. Leelavathi, Studies on heat stabilized wheat germ and its influence on rheological characteristics of dough, *European Food Research and Technology*. 224 (3) (2007), 365-372. doi:10.1007/s00217-006-0317-x
- [5] M.L. Sudha, A.K. Srivastava, K. Leelavathi, Studies on pasting and structural characteristics of thermally treated wheat germ, *European Food Research and Technology*. 225 (3-4) (2007), 351-357. doi: 10.1007/s00217-006-0422-x
- [6] Ş. İbanoğlu, İ. Gökpinar, A.C. Dalgıç, M.D. Öner, Buğday ruşeymi özellikleri ve kullanım alanları, *Unlu Mamüller Teknolojisi*. 8 (6) (1999), 39-43.
- [7] T. Wang, L.A. Johnson, Refining high-free fatty acid wheat germ oil, *Journal of The American Oil Chemists' Society*. 78 (1) (2001), 71-76. doi: 10.1007/s11746-001-0222-2
- [8] O.A. Megahad, O.S. El Kinawy, Studies on the extraction of wheat germ oil by commercial hexane, *Grasas Y Aceites*. 53 (4) (2002), 414-418. doi: 10.3989/gya.2002.v53.i4.339
- [9] S. Türker, A. Elgün, Süne-kıvıllı zararlı tavlı buğdaylara mikrodalga uygulamasının öğütme ve un özelliklerine etkisi, *Gıda*. 23 (1) (1998), 67-73.
- [10] S.M. Nolasco, L.A. Aguirrezábal, J. Lúquez, C. Mateo, Variability in oil tocopherol concentration and composition of traditional and high oleic sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) in the pampean region (Argentina), *Grasas Y Aceites*. 57 (3) (2006), 260-269. doi: 10.3989/gya.2006.v57.i3.47
- [11] K.X. Zhu, H.M. Zhou, H.F. Qian, Protein extracted from defatted wheat germ: nutritional and structural properties, *Cereal Chemistry*. 83 (2006), 69-75. doi:10.1094/CC-83-0069
- [12] Y. Hışıl, S. Ötleş, Vitamin and mineral contents of wheat germ, *Gıda*. 16 (5) (1991), 303-306.
- [13] L. Yu, S. Haley, J. Perret, M. Harris, Antioxidant properties of hard winter wheat extracts, *Food Chemistry*. 78 (4) (2002), 457-461. doi: 10.1016/S0308-8146(02)00156-5
- [14] B. Xu, S.L. Zhou, W.J. Miao, C. Gao, M.J. Cai, Y. Dong, Study on the stabilization effect of continuous microwave on wheat germ, *Journal of Food Engineering*. 117 (1) (2013), 1-7. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.01.031
- [15] C.G. Rizzello, A. Cassone, R. Coda, M. Gobbetti, Antifungal activity of sourdough fermented wheat germ used as an ingredient for bread making, *Food Chemistry*. 127 (3) (2011), 952-959. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.01.063
- [16] C.I. Febles, A. Arias, A. Hardisson, C. Rodriguez-Alvarez, A. Sierra, Phytic acid level in wheat flours, *Journal of Cereal Science*. 36 (1) (2002), 19-23. doi: 10.1006/jcrs.2001.0441
- [17] H.P. Rao, G.V. Kumar, R.G.C.P. Rao, S.R. Shurpaleker, Studies on stabilization of wheat germ. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. 13 (1980), 302-307.
- [18] R. Vetrimani, N. Jyothirmayi, P.H. Rao, C.S. Ramadoss, Inactivation of lipase and lipoxygenase in cereal bran, germ and soybean by microwave treatment, *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*. 25 (6) (1992), 532-535.
- [19] S. Kermasha, B. Bisakowski, H. Ramaswamy, F. Van de Voort, Comparison of microwave, conventional and combination heat treatment on wheat germ lipase activity, *International Journal of Food Science and Technology*. 28 (1993), 617-623. doi: 10.1111/j.1365-2621.1993.tb01313.x
- [20] R.W. Klinker, Stabilization of wheat germ by microwave heating, *Getriede Mehl und Brot*. 48 (1994), 18-21.
- [21] H. Zwingelberg, B. Fretzdorff, Effect of microwave treatment on the keeping characteristics of food grade wheat germ, *Getriede Mehl und Brot*. 50 (1996), 214-218.
- [22] E. İbanoğlu, Kinetic study on colour changes in wheat germ due to heat, *Journal of Food Engineering*. 51 (3) (2002), 209-213. doi: 10.1016/S0260-8774(01)00057-7
- [23] P. Elez-Martinez, J. Escola-Hernandez, R.C. Soliva-Fortuny, O. Martin-Belloso, Inactivation of lactobacillus brevis in orange juice by high-intensity pulsed electric fields, *Food Microbiology*. 22 (4) (2005), 311-319. doi: 10.1016/j.fm.2004.09.005
- [24] Z. Liang, Z. Cheng, G.S. Mittal, Inactivation of spoilage microorganisms in apple cider using a continuous flow pulsed electric field system, *LWT-Food Science and Technology*. 39 (4) (2006), 351-357. doi: 10.1016/j.lwt.2005.02.019
- [25] S.Ö. Özkoç, Kızılötesi ve kızılötesi-kombinasyon ısıtma teknolojilerinin gıda işleme uygulamalarında kullanımı, *Gıda*. 35 (3) (2010), 211-218.
- [26] A. Elgün, S. Türker, N. Bilgiçli, M.K. Demir, N. Ertaş, Depolama stabilitesi, ekmekçilik kalitesi ve besin değeri daha yüksek tam buğday unu üretimi üzerine bir araştırma, Tübitak-TOVAG, Proje No: 106O187, Konya, (2009).
- [27] M. Certel, F. Erem, B. Karakaş, Farklı depolama koşullarında normal ve kepekli ekmeklerin mikrobiyolojik özellikleri, su aktivitesi ve sünme durumunun değişimi, *Gıda*. 34 (6) (2009), 351-358.
- [28] AOCS, In Official Methods and Recommended Practices of The American Oil Chemists' Society, AOCS Press: Champaign, IL., 1990.

- [29] IUPAC-International Union of Pure and Applied Chemistry, Method 2.432 in Standard Methods for The Analysis of Oils, Fats and Derivatives. 7th edition, *Pergamon Press*, Oxford, 1992.
- [30] O. Düzgüneş, T. Kesici, O. Kavuncu, F. Gürbüz, Araştırma ve Deneme Metodları (İstatistiksel Metodları-II), *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1021*, Ankara, 1987.
- [31] M.K. Demir, A. Elgün, Buğday Ruşeyminin Beslenmedeki Yeri, 1. *Ulusal Helal ve Sağlıklı Gıda Kongresi*, Ankara, 184-185, 2011.
- [32] J. Tao, Rice bran stabilization by improved internal and external heating methods, PhD Thesis, *Louisiana State University, Baton Rouge, LA.*, 1989.
- [33] H.U. Hebbar, K.E. Nandini, M.C. Lakshmi, R. Subramanian, Microwave and infrared heat processing of honey and its quality, *Food Science and Technology Research*. 9 (1) (2003), 49-53. doi: 10.3136/fstr.9.49
- [34] N. Özkütük, Mikrodalga ve ultraviyole ile dezenfeksiyon uygulamaları, kullanım alanları genel özellikleri, 4. *Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi*, Samsun, 338-343, 2005.
- [35] M. Capitani, C.M. Mateo, S.M. Nolasco, Effect of temperature and storage time of wheat germ on the oil tocopherol concentration, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 28 (2) (2011), 243-250. Doi: 10.1590/S0104-66322011000200008
- [36] H. Dıraman, Türkiye'nin farklı bölgelerinden çeşitli sistemlerle üretilmiş natürel zeytinyağlarında oksidatif stabilite ve serbest asitlik düzeyi üzerine çalışmalar, *Gıda*. 32 (2) (2007), 63-74.
- [37] D.B. Konuşkan, Hatay'da yetiştirilen halhali, sarı haşebi ve gemlik zeytin çeşitlerinden çözücü ekstraksiyonuyla elde edilen yağların bazı niteliklerinin belirlenmesi ve mekanik yöntemle elde edilen zeytinyağları ile karşılaştırılması, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana, 2008.



## Hata Türü Ve Etkileri Analizi Ve Döküm Sektöründe Bir Uygulama

Sariye Şençoban Kaya<sup>1\*</sup> , Kemal Alaykiran<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği, Konya

<sup>2</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya

**ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE**

**(Geliş/Received: 14.05.2019; Kabul/Accepted: 19.07.2019; Online baskı/Published online: 09.12.2019)**

### ÖZET

Bu çalışmada kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan hata türü ve etkileri analizi, döküm sektöründe üretimi gerçekleşen bir parça üzerinde uygulanmıştır. Öncelikle üretim parçasına ait iş akış şeması ve ürüne ait bilgiler ayrıntılı olarak bir ekip tarafından analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre oluşabilecek hata türleri tanımlanıp, bu hata türlerinin nedenleri ve etkileri belirlenerek risk öncelik sayısı hesaplanmıştır. Bu risk öncelik sayısına göre öncelikli olarak önlem alınması gereken hata türleri belirlenmiştir. Öncelikli olarak önlem alınması gereken hata türleri için gerekli düzeltici ve önleyici faaliyetler belirlenmiş ve alınan önlemler sonrasında hatanın tekrar oluşup oluşmadığı izlenmiştir. Bu analiz sonucunda 15 tane hata türü tanımlanmıştır. Bu hatalardan 13'ünün risk öncelik sayısının değeri 100'den büyük çıkmıştır. Bu 13 hatanın oluşmasını engellemek için çeşitli önlemler alınmıştır. Tüm bu önlemler alındıktan sonra tanımlanan hata türleri üzerinde yaklaşık olarak %50 oranında iyileşme meydana geldiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Düzeltici ve Önleyici Faaliyet, FMEA, Proses FMEA, Risk Öncelik Sayısı

**Failure Mode And Effects Analysis And An Application In The Casting**

### ABSTRACT

In this study, one of the quality improvement methods, the failure type and its effects analysis, has been applied on a piece which is produced in the casting sector. First of all, the work flow diagram and product information of the production part were analyzed in detail by a team. According to the results of the analysis, the types of failures that can occur are identified and the causes and effects of these failure types are determined and the risk priority number is calculated. The types of failures that should be taken as a priority according to this risk priority number are determined. Necessary corrective and preventive actions were identified for the types of failures that should be taken as a priority and it was observed that the failure occurred again after the measures taken. As a result of this analysis, 15 failure types are defined. Of these errors, 13 had higher ROS values than 100. Various measures have been taken to prevent the occurrence of these 13 faults. After all these measures were taken, approximately 50% improvement was observed on the types of faults identified.

**Key Words:** Corrective and Preventive Action, FMEA, Process FMEA, Risk Priorities Number

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz küresel rekabet ortamında, her alanda rekabet üstünlüğü sağlamak işletmelerin temel hedeflerinden biri haline gelmiştir. Firmalar pazarda kendi sektörlerinde yer edinebilmek ve kalıcı olabilmek için müşteri beklentilerini dikkate alarak, müşteri memnuniyetlerini en üst düzeyde tutmak zorundadırlar. Bu nedenle müşterilere daha kaliteli ürün sunmak, tek seferde hatasız ve doğru ürünü üretmek işletmeler için vazgeçilmez bir unsurdur. İşletmeler kalite seviyelerini daha ileriye taşımak için pek çok yöntem kullanmaktadırlar. Bu yöntemlerden biri de mevcut hataları ya da potansiyel hataları ortaya çıkmadan belirlemeyi ve önlemeyi veya nihai kullanıcıdaki etkisini ortadan kaldırmayı amaçlayan bir teknik olan hata türü ve etkileri analizi (FMEA) yöntemidir.

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: sariye.sencoban@gmail.com

FMEA yöntemi, üretim ve montaj aşamalarında oluşabilecek potansiyel hata türlerini, nedenlerini ve bu hataların etkilerini tahmin ederek, olasılık, şiddet ve saptanabilirlik çarpanlarını hesaplayarak sistemin tamamı üzerinde en büyük katkıyı sağlayacak hata türlerini önceliklendirerek RÖS'ü belirlemektedir. Bu RÖS'e göre gerekli düzeltici faaliyetleri alarak hatanın ortaya çıkmasını önlemeyi ve hatanın müşteri üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik faaliyetlerin yazılı hale getirildiği bir ekip çalışmasıdır.

Bu çalışmada kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan proses FMEA, döküm sektöründe üretimi gerçekleştiren bir parça üzerinde uygulanmıştır. İlk olarak FMEA yönteminin tanımı, amacı anlatılmıştır. Daha sonra döküm sektöründe üretilen bir parçanın iş akış şeması belirlenmiş ve bu akış şemasına göre oluşabilecek hata türleri tanımlanıp, bu hata türlerinin nedenleri ve etkileri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre gerekli düzeltici ve önleyici faaliyetler tanımlanmıştır. FMEA yöntemi ile hesaplanan yeni RÖS ile eski RÖS karşılaştırılarak hata türleri üzerindeki etkiler hesaplanmıştır. Bu analizin sonucunda hata türleri üzerinde yaklaşık %50 oranında iyileştirmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Son bölümde ise yapılan FMEA çalışmasının sonuçları analiz edilerek bu yöntemin uygulanmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

FMEA kavramı birçok kaynakta farklı şekillerde tanımlanmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır;

FMEA, sistem, tasarım, süreç veya hizmetten kaynaklanan potansiyel hataların değerlendirilmesini ve bu hataların (riskler, yanlışlıklar, problemler, vs.) devamlı olarak azaltılmasını hedefleyen özel bir mühendislik tekniğidir [1].

FMEA, ürün müşteriye ulaşmadan önce sistemden, tasarımdan, süreçten veya servisten kaynaklanan var olan ya da olası hataların, problemlerin ve yanlışlıkların tanımlanmasına, belirlenmesine ve bu hataların ortadan kaldırılmasına yarayan özel bir metodolojidir [2].

FMEA, ürünün herhangi bir aşamasında meydana gelebilecek riskleri önceden tahmin ederek, hataları oluşmadan önlemeye yönelik güçlü bir analiz tekniğidir. Hatanın meydana gelmesi ile oluşabilecek tüm olumsuzlukların veya problemlerin müşteri gibi algılanması prensibine dayanmaktadır [3].

FMEA, sistemde oluşabilecek hataları tanımlamak ve bu hataları önlemek için ürün tasarımının ve tasarım sonrasındaki süreçlerin analiz edilmesi amacıyla kullanılan tekniktir. Hata türü ve etkileri analizi tekniği hata türlerini ürün, süreç ya da hizmet aşamalarında tanımlayarak başlar. Proje ekibindeki kişiler ürünün, girdilerinden başlayıp, nihai kullanıcı olan müşteriye ulaşınca kadar sistemin her ögesini analiz eder [4].

FMEA genel olarak; olası hataların belirlenmesi, bu hataların önceliklerinin sıralanması, öncelik sırasına göre gerekli düzeltici faaliyetlerin alınarak hatanın müşteriye ulaşmadan önlenmesi konularına odaklanmaktadır [5].

Tüm bu odaklar çerçevesinde FMEA'nın amaçları, sistemde var olan veya olabilecek hataları analiz ederek ürünün kalite, emniyet ve güvenilirliğini sağlayarak hataların müşteriye ulaşmamasını ve müşteri memnuniyetini sağlamayı amaçlar. FMEA'nın öncelikli amaçlarını şöyle sıralayabiliriz [6].

1. Ürün veya proseste meydana gelebilecek hataları oluşmadan tahmin ederek, bu hataların oluşmasını önlemek.
2. Ürün veya prosesteki olası hataların türlerini, etkilerini ve önem derecelerini karşılaştırmak.
3. Ürünün, müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılayıp karşılamadığından emin olmak için, sistemdeki imalat ve montaj prosesleri ile ilgili olarak bir ürünün tasarım karakteristiklerini belirlemek.
4. Sistemde oluşabilecek hata türleri tanımlandığında, bu hataları ortadan kaldırmak için önem derecelerine göre gerekli önleyici ve düzeltici faaliyetleri almak veya devamlı olarak hataların meydana gelme potansiyellerini azaltmak.
5. Montaj ve imalat süreçleri için, sistemin dayandığı ilkeleri ve nedenleri dokümanete etmek.
6. İyi bir şekilde uygulanan FMEA; süreçlerin geliştirilmesinde mühendislerin düşüncelerini (deneyim ve geçmişteki problemlere göre mantık çerçevesinde yalnız gidebilecek her birimin analizini içeren) özetler.

Bu analizin amacı, üretim ve montaj aşamalarında oluşabilecek hata türlerinin ve nedenlerinin bir ekip tarafından analiz edilerek gerekli düzeltici önlemler alınarak bu hataların meydana gelmesini önlenmektir. FMEA yöntemi hataların sürekli olarak azaltılması ilkesine dayandığı için hatanın müşteri üzerindeki etkileri de azaltılmış olur. Bu

yöntem sayesinde müşteri istek ve beklentileri sağlanmakta, üretim sürecindeki hata maliyetleri azaltılmakta, ürünün emniyet ve güvenilirliği sağlanmaktadır.

FMEA, tekniği ilk defa ABD ordusunda askeri teçhizatların güvenliliğini arttırmak için geliştirilmiştir. "MIL-P-1629" kodlu Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis" çalışması Türkçe karşılığı Hata Türü Etkileri ve Riskinin Analizi üzerine Prosedürler şeklinde isimlendirilen askeri prosedür, 9 Kasım 1949 tarihinde kullanılmaya başlanmıştır [6]. 1963'te NASA tarafından APOLLO projesinde kullanılmaya başlanmıştır. [7]. Japon NEC firması 1970li yıllarda FMEA tekniğini ilk endüstriyel anlamda uygulamıştır, daha sonra tekstil ve otomotiv sanayinde uygulanarak dünya geneline yayılmıştır [4]. 1988 senesinde Uluslararası Standartlaştırma Organizasyonu kalite yönetim standartları üzerine ISO 9000 serisini ortaya çıkarmıştır. Bu standart işletmeleri, müşterilerin beklentileri ve istekleri doğrultusunda Kalite Yönetim Sistemleri geliştirmeyi zorunlu kılmıştır. ISO 9000 standardının otomotiv sektöründe karşılığı QS 9000 dir. Bu standart otomotiv firmalarını kalite yönetim sistemlerini standartlaştırma gayreti içine sokmuştur. Bunun için bu sektördeki işletmeler FMEA tekniğini içeren APQP İleri Ürün Kalite Planlaması (Advanced Product Quality Planning) uygulamakta ve Kontrol Planları oluşturmaktadır [8]. 2001 yılında ise Ristord nükleer çalışmalarda uygulamak için Belçika'da HTEA prosedürü yayınlamıştır [9].

Türkiye de ise HTEA tekniği 1985 yılından beri uygulanmaktadır. Son zamanlarda kullanımı oldukça yaygınlaşan HTEA yöntemi hemen hemen her sektörde kullanılmaktadır. Bu sektörlerin başında otomotiv sektörü yer alır. Gıda, metal, beyaz eşya, elektronik, deniz taşıtları imalatı, nükleer tasarımlar, yazılım, sağlık sektörü, uzay, atom, iletişim gereçleri vb. gibi pek çok sektörde kullanılmaktadır [4].

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmadaki bilgiler döküm sektöründe üretilen, bir üretim parçasının imalat öncesi ve imalat aşamasındaki iş akış şemaları ve ürüne ait bilgiler ayrıntılı olarak bir ekip tarafından analiz edilerek toplanmıştır.

### 2.2. METOT (Method)

Bu çalışmada kalite iyileştirme yöntemlerinden biri olan FMEA uygulaması üzerinde durulmuş ve FMEA çeşitlerinden olan proses FMEA yöntemi ayrıntılı olarak analiz edilmiş ve döküm sektöründe üretilen bir parçaya nasıl uygulandığı anlatılmıştır.

Öncelikle üretim parçasına ait iş akış şeması belirlenmiş daha sonra bu iş akış şemasına göre oluşabilecek hata türleri tanımlanıp, bu hata türlerinin nedenleri ve etkileri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre gerekli düzeltici faaliyetler tanımlanmıştır ve bütün bu çalışma sonucunda elde edilen bilgiler proses FMEA tablosuna aktarılmıştır.

Bu çalışma da FMEA uygulaması aşağıdaki adımlar izlenerek yapılmıştır.

1. Proses akış şemasının belirlenmesi,
2. Her proste meydana gelebilecek potansiyel hataların tanımlanması ve bu hataların nedenlerinin araştırılması, tanımlanan hataların proses üzerindeki etkisinin analiz edilmesi ve varsa mevcut kontrollerin yeterliliği ve eksikliğini araştırılması,
3. Olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerlerinin belirlenerek, RÖS'ün belirlenmesi,
4. RÖS'e göre hataların kritiklik düzeyine göre sıralanıp alınabilecek önlemlerin belirlenmesi ve yeni RÖS değerlerinin hesaplanması,
5. Tüm önlemler alındıktan sonra hesaplanan yeni RÖS değeri ile eski RÖS değerinin karşılaştırılması [3].

#### 2.2.1. Proses Akış Şeması (Process Flow Chart)

Dökümü yapılacak parça aşağıda Şekil 1.'de belirtilen proseslerden geçer.

#### 2.2.2. Üretim Sürecinde Meydana Gelebilecek Hatalar, Nedenleri, Etkileri ve Mevcut Kontroller (Errors, Causes, Effects and Existing Controls in the Production Process)

1. Parçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi: Bu hatanın oluşma nedeni, üretimi gerçekleştirilecek olan parçaya ait olmayan maça sandığının alınarak maça üretiminin gerçekleştirilmesidir. Bu hatanın potansiyel etkisi, stok maliyetlerin artmasına ve üretim proseslerinde aksamalara neden olmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak maça sandıklarını iyi bilen tecrübeli kişiler (maçahane sorumlusu) tarafından maça sandıklarını alınması ön görülmüştür. Herhangi bir teknik çizim, tanımlama kartı vs. gibi kontrol önlemleri bulunmamaktadır. Süreç kişilere bağlı olarak devam ettirilmektedir.
2. Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması: Bu hatanın muhtemel oluşma nedeni maça üretimi prosesi sırasında uygunsuz maçaların fark edilmeden bir sonraki proses alanına taşınmasıdır. Bu hatanın potansiyel etkisi, müşteri spesifikasyonlarına uygun olmayan ürünün üretilmesi nedeniyle müşteri şikâyetlerinin artmasına ve iç hata oranlarının yükselmesine neden olmaktadır. Bu hatayı önlemek için mevcut süreçte herhangi bir kontrol yöntemi bulunmamaktadır. Bu gibi durumda karşılığınca bozuk olan parça bir sonraki proseste fark edilirse parça hurdaya ayrılmaktadır. Eğer fark edilemezse parçanın hatalı olarak müşteriye sevki gerçekleştirilmektedir.
3. Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi: Bu hatanın nedeni kalıplama prosesi sırasında kalıplama hattına yanlış modelin bağlanmasıdır. Bu hatanın potansiyel etkisi özellikle müşteri siparişine göre üretim yapan işletmelerde kontrolsüz stok artışına ve depo maliyetlerinde artışa neden olmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak modelleri iyi tanıyan tecrübeli kişiler (modelhane sorumlusu) tarafından modellerin alınması ön görülmüştür. Herhangi bir model sicil kartı, teknik çizim, tanımlama kartı vs. gibi kontrol önlemleri bulunmamaktadır. Süreç kişilere bağlı olarak devam ettirilmektedir.
4. Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi: Bu hatanın nedeni modelin kalıplama hattına uygun şekilde bağlanmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi firmada hurda artışına neden olmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak derecelerin üzerinde üst derece mi alt derece mi olduğunu belirten "ÜD" ve "AD" işaretleri bulunmaktadır. Üst model "ÜD" işaretli dereceye alt model de "AD" işaretli dereceye konmaktadır.
5. Parça da yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerin meydana gelmesi: Bu hatanın nedeni kalıp kumu dayanımının az olması ve kalıp yüzeylerinin kontrolünün eksik yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi uygun olmayan ürünlerin artmasına ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Mevcut süreçte bu hatayı önlemeye yönelik bir kontrol yöntemi bulunmamaktadır.
6. Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi: Bu hataların nedeni kalıba maça, filtre ve besleyicilerin konulmaması veya yanlış konulmasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi uygun olmayan ürünlerin artmasına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte bu hatayı önlemeye yönelik bir kontrol yöntemi bulunmamaktadır.
7. Parçada döküm kaynaklı (gaz boşluğu vb.) hataların meydana gelmesi: Bu hatanın nedeni ocak analizinin yanlış yapılması, maden oranlarının yanlış karıştırılmasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi ürünün mekanik özelliklerinin istenilen düzeyde olmamasına ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak tecrübeli kişiler tarafından spektrometre ile kontrol yapılmaktadır. Her ürün için bu oranların olması gereken değerlerin yazıldığı herhangi bir döküm metot kartı yoktur. Süreç kişilere bağlı olarak devam ettirilmektedir.
8. Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi: bu hatanın nedeni ocak ve döküm sıcaklığının istenen değerden sıcak ya da soğuk olmasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi ürünün mekanik özelliklerinin istenilen düzeyde olmamasına ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Mevcut süreçte kontrol önlemi olarak tecrübeli kişiler tarafından termokuple ile kontrol yapılmaktadır. Her ürün için bu sıcaklık değerlerinin yazıldığı herhangi bir döküm metot kartı bulunmamaktadır. Süreç kişilere bağlı olarak devam ettirilmektedir.
9. Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi: Bu hatanın nedeni derecelerin yeterli miktarda ve uygun hızda doldurulmamasıdır. Bu hatanın potansiyel etkisi ürünün mekanik özelliklerinin istenilen düzeyde olmaması, uygun olmayan ürünlerin artmasına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

10. Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) oluşması: Bu hatanın nedeni parçanın yolluklarından istenilen şekilde ayrılmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi uygun olmayan ürünlerin artmasına yani hurda artışına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

11. Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) oluşması: Bu hatanın nedeni parçanın uygun olarak taşlanmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi uygun olmayan ürünlerin artmasına yani hurda artışına ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

12. Parçada yüzey kalitesinin kötü olması: Bu hatanın nedeni parçaların yeterli sürede kumlanmaması ve proses kontrollerinde eksiklikten kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

13. Parçaların müşteri spesifikasyonlarına uygun olarak boyanmaması: Bu hatanın nedeni boyama operatörlerinin hangi parçayı hangi renkte boyayacağını bilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır. Süreç soru cevap şeklinde devam ettirilmektedir.

14. Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi: Bu hatanın nedeni final kontrol yapacak yetkin bir personelin olmaması ve final kontrol kriterlerinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi müşteri iadesi, müşteri şikâyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır.

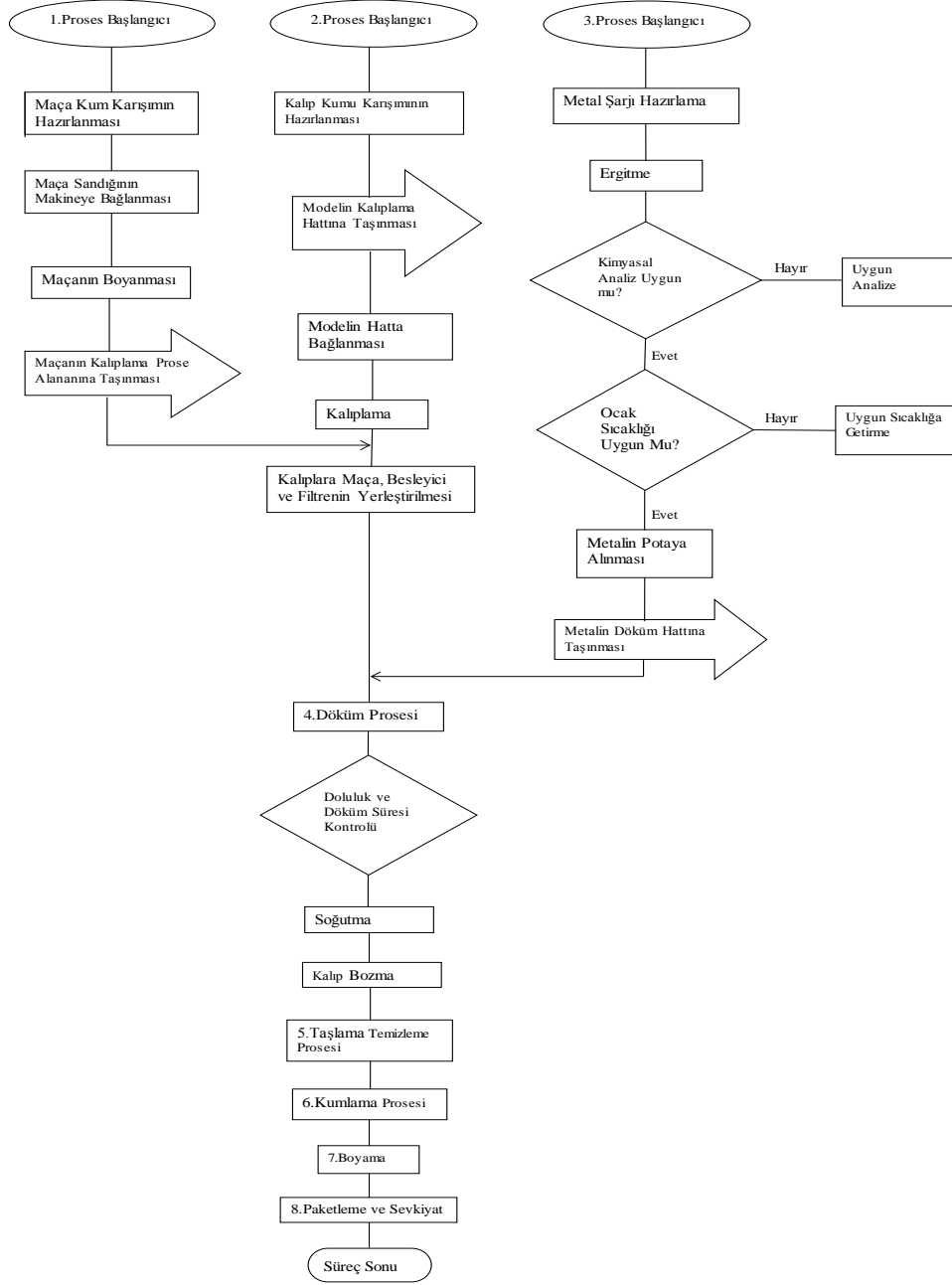
15. Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi: Bu hatanın nedeni sevkiyat operatörlerinin ürünün paketlenmesi için müşteri spesifikasyonlarını bilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu hatanın potansiyel etkisi müşteri şikâyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Mevcut süreçte herhangi bir kontrol önlemi bulunmamaktadır. Süreç soru cevap şeklinde devam ettirilmektedir.

### *2.2.3. Olasılık – Keşfedilebilirlik – Şiddet Değerlerinin Belirlenmesi ve Risk Öncelik Sayısının Belirlenmesi (Determination Of the Severity Values And Determination Of The Number Of Risk Priorities)*

Olasılık, keşfedilebilirlik ve şiddet değerlerini belirlemek için 10'luk sistem kullanılmıştır. Bu çalışmadaki bilgiler döküm sektöründe üretilen, bir üretim parçasının imalat öncesi ve imalat aşamasındaki iş akış şemaları ve ürüne ait bilgiler ayrıntılı olarak kalite ve üretim ekipleri tarafından analiz edilerek toplanmıştır. Değerler verilirken mümkün olduğunca geçmiş veriler ve tecrübelerden yararlanılmıştır.

Olasılık, keşfedilebilirlik ve şiddet değerleri belirlenmiştir. RÖS hesaplanırken çarpma yöntemi kullanılmıştır [4]. Ortaya çıkma değeri hesaplanırken aşağıdaki Çizelge 1.'deki değerlerden yararlanılmıştır.

Şekil 1. Döküm Parçası Akış Şeması  
(Figure 1. Casting Part Flow Chart)



**Çizelge 1.** Hatanın ortaya çıkma sıklığı [10]  
(Table 1. Frequency of occurrence of failure [10])

HATANIN OLUŞMA OLASILIĞI	HATANIN OLASILIĞI (SIKLIĞI)	DERECE
Çok Yüksek	1/2'den fazla	10
	1/3	9
Yüksek	1/8	8
	1/20	7
Orta	1/80	6
	1/400	5
Düşük	1/2000	4
	1/15000	3
Pek Az	1/150000	2
	1/150000'den düşük	1

Aşağıda Çizelge 2.'de belirlenen hatalar ve bu hataların ortaya çıkma olasılıkları gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Hataların Ortaya Çıkma Olasılığı  
(Table 2. Probability Of Occurrence Of Failure)

Hata	Olasılık
1.Paraçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	5
2.Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın kullanılması	5
3.Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	5
4.Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	3
5.Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	5
6.Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	5
7.Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	6
8.Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi.	5
9.Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	5
10.Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	6
11.Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	6
12.Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	6
13.Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	4
14.Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	6
15.Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	4

Keşfedilebilirlik değeri hesaplanırken aşağıdaki Çizelge 3.'deki değerlerden yararlanılmıştır.

**Çizelge 3.** Keşfedilebilirlik (Saptama) [10]  
(Table 3. Explorability (Detection) [10])

Saptanabilirlik	Saptanabilirlik Olasılığı	Derece
Fark Edilmez	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği mümkün değil	10
Çok Az	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği çok az	9
Az	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği az	8
Çok Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği çok düşük	7
Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği düşük	6
Orta	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği orta	5
Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği yüksek	4
Çok Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği çok yüksek	3
Hemen hemen kesin	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği hemen hemen kesin	2
Kesin	Potansiyel hatanın nedeninin ve hatanın saptanabilirliği kesin	1

Aşağıda Çizelge 4.'de belirlenen hatalar ve bu hataların ortaya çıkma olasılıkları gösterilmiştir.

**Çizelge 4.** Hataların Keşfedilebilirliği (Saptama)  
(Table 4. Detectability of Errors (Detection))

Hata	Keşfedilebilirlik
1.Paraçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	5
2.Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın kullanılması	5
3.Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	5
4.Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	4
5.Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	5
6.Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	5
7.Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	5
8.Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi.	6
9.Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	5
10.Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	4
11.Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	4
12.Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	4
13.Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	6
14.Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	4
15.Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	4

Şiddet değeri hesaplanırken aşağıdaki Çizelge 5.'deki değerlerden yararlanılmıştır.



**Çizelge 5. Şiddet (Ağırlık) Etkisinin Sınıflandırılması[10]**  
(Table 5. Classification Of Violence Effect [10])

Etki	Derece
Uyarısız Gelen Yüksek Tehlike	10
Uyarısız Gelen Tehlike	9
Çok Yüksek	8
Yüksek	7
Orta	6
Düşük	5
Çok Düşük	4
Küçük	3
Çok Küçük	2
Yok	1

Aşağıda Çizelge 6.'da belirlenen hatalar ve bu hataların şiddetleri (ağırlık) gösterilmiştir.

**Çizelge 6. Hataların Şiddeti (Ağırlık)**  
(Table 6. Intensity of Errors (Weight))

Hata	Şiddet
1.Paraçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	7
2.Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın kullanılması	6
3.Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	6
4.Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	6
5.Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	6
6.Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	7
7.Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	7
8.Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi.	7
9.Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	7
10.Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	6
11.Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	6
12.Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	6
13.Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	5
14.Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	6
15.Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	5

2.2.4. Öncelikle Önlem Alınacak Hataların Belirlenmesi Ve Öngörülen Önlemler Ve Yeni RÖS Değerleri (Identifying Errors To Be Taken First Forecasted Measures And New RÖS Values)

Yukarıda ortaya çıkma, saptama ve ağırlık değerleri belirlenen hatalar için RÖS hesaplanmaktadır. RÖS $\geq$  100 olan hatalar için öncelikli olarak önlem almak gerekmektedir. Bu hatalar aşağıda Çizelge 7.'de gösterilmektedir.

**Çizelge 7.** RÖS Değerine Göre Sıralanmış Hatalar  
(Table 7. Failures Sorted By According To ROS Value)

Hata	RÖS
1.Parçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	175
2.Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın kullanılması	150
3.Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi	150
4.Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	72
5.Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	150
6.Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	175
7.Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	210
8.Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi.	210
9.Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	175
10.Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	144
11.Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi	144
12.Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	144
13.Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	120
14.Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	144
15.Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	80

Bu sonuçlara göre birincil olarak önlem alınacak hatalar ve ikincil olarak önlem alınacak hatalar şu şekildedir.

1.Birincil olarak önlem alınacak hatalar

- Paraçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi,
- Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması,
- Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi,
- Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi,
- Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi,
- Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi,
- Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi,
- Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi,
- Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi,
- Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) meydana gelmesi,

- Parçada yüzey kalitesinin kötü olması,
- Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması,
- Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi,

## 2.İkincil olarak önlem alınacak hatalar

- Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi,
- Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi,

Yukarıda belirlenen hatalar için yeterli düzeyde önlem alındıktan sonra tekrar FMEA çalışması yapılacaktır. Böylece yeni durum için hata öncelikleri bulunacaktır. Amaç sürekli iyileştirme ile hata oranlarını minimize etmektir.

Birinci aşamada önlem alınacak hatalar için belirlenen önlemler şu şekildedir:

1. Parçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak oluşma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda tanımlama kartları oluşturularak maça sandıklarının üzerine yapıştırılması sağlanmıştır. Böylelikle yanlış maça sandığının üretime alınmaması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 63 olmuştur.

2. Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın (kırık, çatlak ve çapak olan) kullanılması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak oluşma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla maça üretildikten sonra kontrol edilmesi için kontrol kriterleri oluşturulmuştur. Böylelikle uygunsuz olan maçaların belirlenip bir sonraki proses sahasına taşınmamış olacaktır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

3. Farklı parçanın üretiminin gerçekleştirilmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda model sicil kartlarının oluşturulması sağlanmış ve modellerin üzerine tanımlama kartları yapıştırılmıştır. Böylelikle modellerin kalıplama hattına doğru olarak bağlanması sağlanmış olacaktır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 54 olmuştur.

4. Parça da yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerin meydana gelmesi: Bu hatanın oluşmasını engellemek için proses kontrol kriterlerinin oluşturulması sağlanmıştır. Böylelikle hatanın proseste keşfedilebilirliğini arttırarak keşfedilebilirlik değeri düşürülmüş olacaktır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

5. Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi: Bu hatanın oluşmasını engellemek için proses kontrol kriterlerinin oluşturulması sağlanmıştır. Hangi ürün için hangi maça hangi filtre ve besleyici kullanılacağını gösteren parça bilgi kartları oluşturulmuştur. Böylelikle hatanın proseste oluşma olasılığı ve keşfedilme değeri düşürülmüş olacaktır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 63 olmuştur.

6. Parçada döküm kaynaklı (gaz boşluğu vb.) hataların meydana gelmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla her ürün için ocak analizlerinin yazdığı döküm metot kartlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik

değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 84 olmuştur.

7. Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla her parça için ocak sıcaklıklarını belirten döküm metot kartlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 84 olmuştur.

8. Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla proses kontrol kriterinin oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 63 olmuştur.

9. Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) oluşması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla parçanın yolluklarından ayrılması ile ilgili proses kontrol kriterinin oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

10. Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukların (etten kesme) oluşması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla parçanın taşlanması ile ilgili proses kontrol kriterinin oluşturulması sağlanmış ve parça taşıma kartlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

11. Parçada yüzey kalitesinin kötü olması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla parçanın kumlanması ile ilgili proses kontrol kriteri oluşturulmuştur. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 54 olmuştur.

12. Parçaların müşteri spesifikasyonlarına uygun olarak boyanmaması: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla ürün listeleri ve hangi ürünün hangi renk ve hangi kriterlerde boyanacağını belirten boyama talimatlarının oluşturulması sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 3'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 45 olmuştur.

13. Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi: Bu hatanın şiddeti yüksek olduğu için RÖS değerini düşürebilmek için keşfedilme değerini düşürerek yani sistemde hatanın keşfedilmesini arttırarak hatanın ortaya çıkma olasılığını düşürmemiz gerekmektedir. Bu amaçla final kontrol kriterleri tanımlayarak, yeni bir personel istihdamı sağlanmıştır. Bu hatanın yeni keşfedilebilirlik değeri 3'e ve yeni olasılık değeri 4'e düşmüştür. Bu durumda yeni RÖS değeri 72 olmuştur.

2.2.5. Alınan Önlemler Sonrası İçin Hesaplanan Yeni RÖS ile Eski RÖS'ün Karşılaştırılması (Comparison Of New RÖS And Old RÖS For Post-Measures Measured)

**Çizelge 8. Eski RÖS Değerleri ve Yeni RÖS Değerleri**  
(Table 8. Old and new RÖS values)

Hata	Eski RÖS	Yeni RÖS
1.Paraçaya ait olmayan farklı bir maçanın üretilmesi	175	63
2.Boyutsal olarak uygun olmayan maçanın kullanılması	150	72
3.Farklı parçanın üretimini gerçekleştirilmesi	150	54
4.Parçada şekilsel bozuklukların meydana gelmesi	72	72
5.Parçada yüzeysel bozuklukların ve kum düşmelerinin meydana gelmesi	150	72
6.Parçada boyutsal ve dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, soğuk birleşme vb.) hataların meydana gelmesi	175	63
7.Parçada dökümden kaynaklı (gaz boşluğu, vb.) hataların meydana gelmesi	210	84
8.Dart, soğuk birleşme, eksik kalma vb. gibi hataların meydana gelmesi.	210	84
9.Eksik döküm, gaz boşluğu, dart, koparma vb. gibi hataların meydana gelmesi	175	63
10.Parçanın yolluklarından ayrıldıktan sonra boyutsal bozuklukların meydana gelmesi	144	72
11.Parçanın taşlandıktan sonra boyutsal bozuklukları meydana gelmesi	144	72
12.Parçada yüzey kalitesinin kötü olması	144	54
13.Parçanın müşteri spesifikasyonlarına göre boyanmaması	120	45
14.Nihai ürünün müşteriye uygunsuz olarak sevk edilmesi	144	72
15.Ürünlerin müşteri istekleri doğrultusunda paketlenmemesi	80	80

Yukarıda Çizelge 8.'de görüldüğü gibi tüm önlemler alındıktan sonra hesaplanan yeni RÖS değerleri 100'ün altına düşmektedir. Sistemde yeterli iyileştirme sağlanmıştır. FMEA çalışmasının sonucunda 1 numaralı hatada %64, 2 numaralı hatada %52, 3 numaralı hatada %64, 5 numaralı hatada %52, 6 numaralı hatada %64, 7 numaralı hatada %60, 8 numaralı hatada %60, 9 numaralı hatada %64, 10 numaralı hatada %50, 11 numaralı hatada %50, 12 numaralı hatada %62,5, 13 numaralı hatada %62,5 ve 14 numaralı hatada %50 oranında azalma gözlenmiştir. Analiz edilen hata türleri üzerinde %50 oranında iyileşme gerçekleşmiştir.

### 3. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmadaki bilgiler döküm sektöründe üretilen, bir üretim parçasının imalat öncesi ve imalat aşamasındaki iş akış şemaları ve ürüne ait bilgiler ayrıntılı olarak bir ekip tarafından analiz edilerek toplanmıştır. Bu analiz

sonucunda 15 tane hata türü tanımlanmıştır. Bu hatalardan 13'ünün RÖS değeri 100 den büyük çıkmıştır. Bu 13 hatanın oluşmasını engellemek için çeşitli önlemler alınmıştır. Tüm bu önlemler alındıktan sonra tanımlanan hata türleri üzerinde yaklaşık olarak %50 oranında iyileşme meydana geldiği gözlenmiştir.

FMEA hataları tahmin ederek önlemeye yönelik ayrıntılı kontrol planları hazırlaya yardımcı olan bir tekniktir. Fakat kalite iyileştirme süreci süreklilik isteyen bir süreç olduğu için işletmelerin başarısı için kalite iyileştirme süreçlerinin bir arada kullanılması önerilmektedir. Kontrol önlemi alınan hataların istatistiksel proses kontrol teknikleriyle sürekli olarak izlenmesi ve desteklenmesi daha çok faydalı olacaktır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S. B. Tunçelli, Helikopter Tasarım Sürecinde Pilot Koltuğu Tasarım Sürecinde Pilot Koltuğu Tasarım Kavram Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Ürünleri Tasarım Anabilim Dalı, İstanbul, 2006.
- [2] E. Aytaç, Kalite İyileştirme Sürecinde Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Uygulama Örneği, Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Aydın, 2011.
- [3] G. Aran, Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Tokat, 2006.
- [4] O. Büyüktuna, Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Makine Sanayinde Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Denizli, 2012.
- [5] Y. Taş, K. H. Koç, Hata türü ve analizi tekniğinin mobilya endüstrisine yönelik uygulaması, İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi, 2 (5) (2010), 150-178. <http://dergipark.org.tr/iaud/issue/30050/324473>
- [6] B. S. Yılmaz, Hata türü ve etki analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2 (4) (2000), 133-150. <https://www.academia.edu/3178040>
- [7] Y. Sönmez, M. Unğan Hata türü ve etkileri analizi ve otomotiv parçaları üretiminde bir uygulama, İşletme Bilim Dergisi (JOBS), 5(2) (2017), 217-245. doi:10.22139/jobs.321887
- [8] C. Söylemez, Hata Türü ve Etkileri Analizi İş Güvenliği Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2006.
- [9] Ö. Ö. Aydın, Tasarımda Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2004.
- [10] Ö. Kahraman, A. Demirer, Ohsas 18001 kapsamında FMEA uygulaması, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(1) (2010), 53-68. <https://www.researchgate.net/publication/330347482>

## Filyos Çayı Havzasında SWAT Modelinin Uygulaması

Kadir ÖZDEMİR<sup>1\*</sup> , Ömer GÜNGÖR<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, Türkiye

<sup>2</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, Türkiye

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

(Geliş/Received: 14.03.2019; Kabul/Accepted: 13.09.2019; Online baskı/Published online: 09.12.2019)

### ÖZET

Bu çalışmada, Batı Karadeniz Bölgesinin en büyük havzası plan Filyos Çayı havzasının hidrolojik bileşenlerinin belirlenmesi için Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) modeli kullanılmıştır. Bu çalışmanın ilk aşamasında, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), arazi kullanımı, toprak ve meteorolojik veriler kullanılarak bir hidrolojik model oluşturulmuştur. Kurulan model, SWAT-Cup otomatik kalibrasyon programı kullanılarak, 1988-1993 yılları arasındaki dönemde kalibre edilmiş, 1988-2000 yılları arasındaki dönemde de doğrulanmıştır. Filyos Çayı havzasının hidrolojik bileşenler incelendiğinde, tüm çıktılar 1979-2013 döneminde azalma eğilimindedir. Su veriminde % 35, sızma miktarında % 41 ve yeraltı suyu miktarında% 34 gibi ciddi azalmalar dikkat çekmektedir. Diğer yandan SWAT modeli kalibrasyon dönemi için aylık Nash-Sutcliffe, Standard Deviation of the Measured Data (RSR) ve percentage bias (PBIAS) performans göstergeleri sırasıyla 0.67, 0.57 ve -14.3, validasyon dönemi için 0.72, 0.52 ve -18.9 olarak tespit edilmiştir. Bu veriler, Morisia vd. (2007) tarafından geliştirilen performans kriter tablosu ile karşılaştırıldığında, SWAT kalibrasyon ve validasyon performanslarının oldukça iyi olduğu ortaya koyulmuştur. Aynı zamanda bu çalışma Filyos Çayı havzasındaki hidrolojik prosesleri tahmin etmek için geliştirilen SWAT'ın oldukça iyi ve güvenli bir model olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrolojik bileşenler, Filyos Çayı Havzası, SWAT modeli, Kalibrasyon, Validasyon

### SWAT Model on Filyos Creek Basin

### ABSTRACT

In this study, the hydrology of the Filyos Creek Basin was modeled using Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to determine the hydrological components. In the first phase of the study, a hydrological model was established using digital elevation model, land use, soil and meteorological data. The model was calibrated during the period 1988-1993 using the SWATCup automatic calibration program and verified during the period 1988-2000. When the hydrological components are investigated, all hydrological output tends to decrease in the period 1979-2013. Serious decreases such as 35 % in water yield, 41 % in infiltration amount and 34% in groundwater amount are remarkable. As the observations are compared with model results, the monthly NashSutcliffe, RSR and PBIAS performance indicators for the calibration period at Filyos Creek basin have been 0.67, 0.57 and -14.3, respectively and for the validation period, 0.72, 0.52 and 18.9 respectively. It is reported that when these data are compared with the performance criteria table performed by Morisa et al. (2007), the results of calibration and validation for SWAT are very good. Further, the results of this current study demonstrate that SWAT is very satisfactory model for predicting to the hydrological processes in Filyos Creek basin.

**Key Words:** Hydrological components, Filyos Creek basin, SWAT model, Calibration, Validation.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Temiz su kaynaklarının mevcudiyeti, halk sağlığı, gıda güvenliği, insan refahı ve ekosistem için temel bir ihtiyaçtır. Hayat standartlarının yükselmesi, nüfus değişimine bağlı göçler, arazi ve su kullanımı ile diğer dış etkenler; sulama, enerji üretimi, endüstriyel ve evsel faaliyetler için gerekli olan ulusal ve uluslararası su kaynaklarının dengeli ve sürdürülebilir kullanımı üzerindeki etkisini gittikçe artırmaktadır [1,2]. Diğer yandan temiz su kaynakları ile ilgili

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: kadir.ozdemir@beun.edu.tr / Tel: +90 372 291 2568

tahmin edilemeyen ve sıkça meydana gelen değişimler su yönetimi için önemli belirsizlikler meydana getirmektedir [3]. Aynı zamanda bu belirsizliklere iklim değişikliği gibi yeni nesil belirsizliklerin eklenmesi, gelecekte özellikle tarım ve enerji gibi su tüketiminin fazla olduğu üretim sektörlerinin su ihtiyaçlarının karşılanmasında büyük sorunlara yol açması beklenmektedir [4]. Başka bir ifade ile; gelecekteki su ihtiyacının karşılanma konusundaki belirsizlik devam ettikçe dünyadaki su kaynaklarını kullanma ve yönetimi ile ilgili kaygı giderek artmaya devam edecektir [5]. Bu sorun özellikle Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen Rio Zirvesinin en önemli konusu olarak ele alınmıştır [6, 7, 8]. Ayrıca bu konferansta gelecekte dengeli ve sürdürülebilir bir su bütçesi, su kalitesi, su miktarı ve arazi kullanımı konularının birlikte ele alınmasının gerekliliği vurgulanmıştır [9]. Son on yıl içinde temiz su kaynaklarının etkili kullanımı ve uzun süreli sürdürülebilirliğinin sağlanması konusunda havza ölçekli bir yönetim planına geçilmesi ile ilgili bir konsensüs sağlama çabaları giderek artmaktadır [10].

Su kaynakları yönetimi ve arazi kullanımı konusunda günümüzde en uygun yönetim şekli olarak bütünleşik havza yönetiminin planlanmasının uygulanması sosyal ve doğa bilimleri üzerinden bir politika oluşturma ve karar verme gibi farklı açılardan önemli faydalar sağlamakla beraber aynı zamanda çevresel bilginin gelişimi için bir alt yapı oluşturmaktadır. Diğer yandan, bütünleşik havza yönetimi sadece yüzey suyu akışı, sediment birikimi ve nutrient konsantrasyonları gibi çevresel parametrelerin etkilerini değerlendirmek için değil, aynı zamanda havza ölçekli ekonomik ve sosyal değerlerin etkisini göstermede önemli bir rol oynamaktadır [10]. Bununla beraber bütünleşik havza yönetimi uygulamalarından, ekosistem servisleri [11], ortalama akım [12], sediment kirliliği ve su taşkınları [13], toprak kaybının önlenmesi [14] ile su bütçesi [15] ve su kalitesinin [16] artırılması konularında etkin bir faydalanılabilmektedir.

Hidrolojik modeller, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve planlanması için geliştirilmiş önemli araçlardır [17, 18]. Dünyada kullanılabilir su kaynakları hakkında ilk çalışmalar 1970'lerin başında başlamıştır [19, 20]. Ülkesel ve küresel bazda su kaynaklarının mevcudiyeti üzerine yapılan çalışmalar, dünya hidrolojik ağı veri merkezi, genel çevrim modelleri ve hidrolojik modeller üzerinden ortaya konulmuştur.

Hidrolojik modelleme, hidrolojik bileşenlerin tahmin edilmesi veya öngörülmesi için kullanılan temel tekniklerden birisidir. Genellikle modelleme çalışmaları yağış alanı ölçeğinde yürütülmektedir. Hidrolojik modellerin hedefi, havza çıkışında, çeşitli meteorolojik değişkenlere (yağış, sıcaklık) bağlı olarak ortaya çıkan akış bileşenlerini simüle etmektir. Yağış ana belirleyici değişken olduğu için, hidrolojik modeller çoğu zaman yağış-yüzeysel akış modelleri olarak da anılmaktadır [21]. Bununla beraber Arnold vd. [22] iyi bir hidrolojik modelde olması gereken karakteristik özellikleri; mekânsal detay, kolaylıkla ulaşılabılır veriler, sürekli zaman gösterimi, arazi yönetim senaryolarını simüle etme kabiliyeti ve makul sonuçlar sağlama kabiliyeti olarak tanımlamışlardır. Diğer yandan son yıllarda hidrolojik model çalışmalarında coğrafî bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama teknikleri kullanılmaya başlanmıştır [23]. CBS yardımı ile havzadaki bütün farklılıklar modele kolayca aktarılmakta ve model parametreleri değiştirilerek model çalışmaları daha detaylı bir şekilde sürdürülebilmektedir [23].

Günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan önemli hidrolojik modellerden biri olan Soil and Water Assessment Tool (SWAT) modeli ilk olarak Arnold vd. [22] tarafından geliştirilmiştir. Geçmiş yıllarda farklı çevresel koşullar altında SWAT modeli kullanılarak yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar ortaya konulmuştur [24, 25, 26, 27,28]. Srinivasan vd. [29], Yukarı Mississippi Nehri havzasında SWAT modelini kullanarak hidrolojik bütçe ve ürün verimini incelemek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmadaki kritik nokta model için herhangi bir kalibrasyon ve validasyon süreçlerinin gerçekleştirilmemiş olmasıdır. Wu ve Chen [30], Muson ikliminin baskın olduğu Çin'in güneyinde, kıyı bölgeye yakın mesafede bulunan Doğu Nehri havzasını etkileyen doğal ve insan kaynaklı süreçleri ortaya koymak için SWAT modelini kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Tao vd. [31], Doğu Çin'deki Poyang Gölü havzasında SWAT modeli kullanarak farklı arazi kullanımı senaryolarının hidrolojik süreçler üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Kalibrasyon sürecinde 12 parametre kullanılmış olup, model 1982 – 1988 yılları arasında kalibre, 1991-1998 yılları arasında valide edilerek bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmadaki genel hedef SWAT model yaklaşımı ile kirleticilerin uzun vadedeki etkilerini ortaya koymak olmuştur. Sonuç olarak, model sonuçları sayesinde havza çıkışındaki sediment miktarında % 3 ile % 37 oranında, toplam azot yükünde % 1 ile % 24 oranında azalma gerçekleştiği tespit edilmiştir. Güngör ve Göncü [32], Aşağı Porsuk Çayı Havzası'nda en iyi su yönetimi stratejilerini belirlemek için SWAT modeli ile bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında havza için 1978 – 2009 yılları arasında detaylı bir hidrolojik model oluşturulmuştur. Akyüz vd. [33], tarafından Filyos Çayı'nda yapılan çalışmada, nümerik bir model kullanılarak, akarsu akış hızları hesaplanmış ve bunun yardımıyla taşkın risk alanları belirlenmiştir. Özellikle Düzce civarındaki meteorolojik verilerin eksikliği ve yetersizliği nedeniyle SWAT modeli yardımıyla eksik veriler tamamlanmıştır. Bu nedenle bu çalışmanın amacı Batı Karadeniz Havzası'nın önemli bir alt havzası olan ve tüm havza alanının yarısını kapsayan Filyos Çayı Havzası'nda SWAT modeli kullanılarak hidrolojik olarak su bütçesinin ortaya konması olacaktır. Bu çalışma kapsamında, SWAT

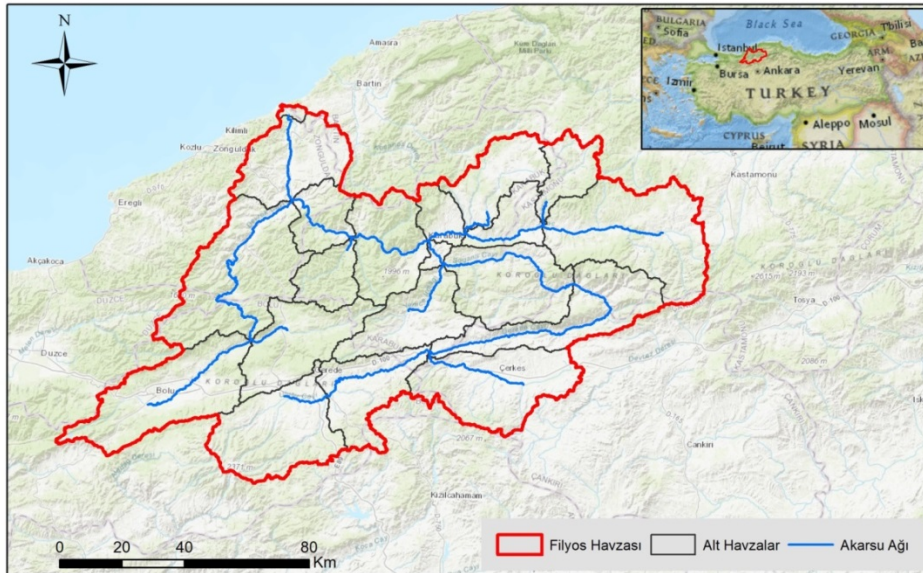


modelinin kalibrasyonu ve validasyonun gerçekleştirilmesi ile model sonuçlarının hidrolojik bileşenler bazında değerlendirilmesi konuları sunulmuştur. Filyos Çayı havzasında SWAT modeli kullanılarak yapılan hidrolojik çalışmalar kısıtlı sayıdadır. Bu kapsamda, Filyos Çayı Havzası'nın bir bütün halinde ele alındığı detaylı bir hidrolojik model çalışması bulunmamaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Filyos Çayı Havzası Batı Karadeniz bölgesinin en büyük havzalarından biri olup Bolu, Kastamonu, Karabük ve Bartın ili sınırları içerisinde geçmektedir. Filyos Çayı alt havzası, Melen Çayı havzası, Devrakani Çayı Alt Havzası ve Bartın Çayı Alt Havzası ile birlikte Batı Karadeniz Havzasını oluşturmaktadır. Batı Karadeniz Havzasının yağış alanının % 45'ini kaplayan Filyos havzası, aynı zamanda Batı Karadeniz Havzası içerisinde yaşayan nüfusun %55'ine de sahiptir. Batı Karadeniz Havzası'nda içme ve kullanma suyu olarak kullanılan miktar yıllık 110 milyon m<sup>3</sup> olup, bu miktarın yaklaşık % 64'lük (70 milyon m<sup>3</sup>) bölümü de çalışma alanı olan Filyos Çayı Havzası'nda kullanılmaktadır [34]. Batı Karadeniz Havzası'nın en büyük akarsuyu olan Filyos Çayının su toplama havzasının alanı 13319 km<sup>2</sup>'dir. Yıllık ortalama 104,6 m<sup>3</sup>/s olan nehrin debisi Nisan ayında 230 m<sup>3</sup>/s ile en yüksek, Ağustos ayında ise 28 m<sup>3</sup>/s ile en düşük seviyededir. Çalışma alanının konumu, havza sınırları ve akarsu ağ yapısı Şekil (1)'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Filyos Çayı havzası çalışma alanı.  
(Figure 1. Study area Filyos Creek basin)

### 2.2. Modelin Tanımlanması (Model Description)

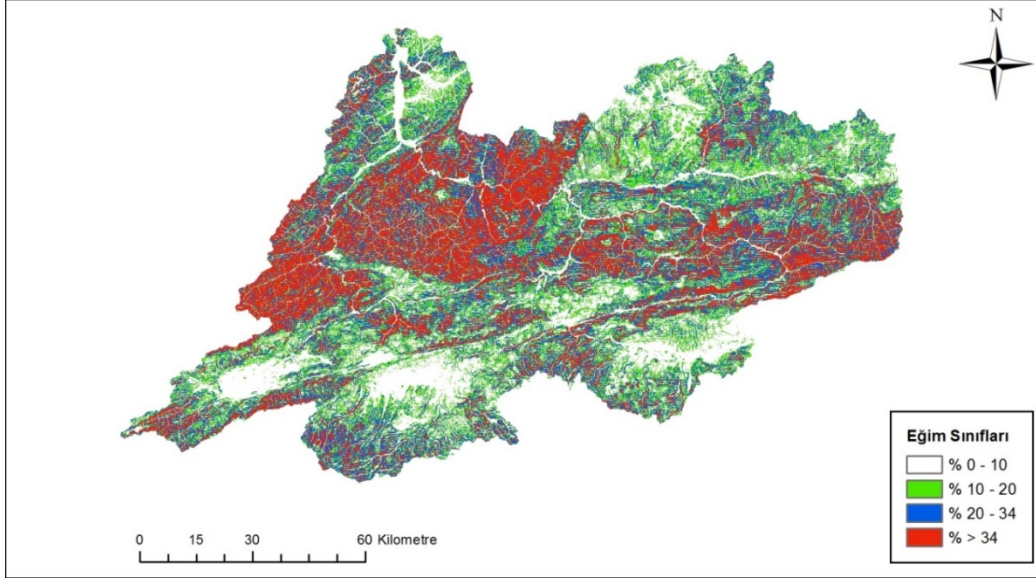
SWAT, farklı çevresel koşullardaki hidrolojik olayları detaylandırarak simüle edebilme yeteneğine sahip bir hidrolojik modeldir [35]. SWAT arazi kullanımı, toprak ve toprak sınıfları, yüzey akışı, sediment birikimi ve nütrient konsantrasyonları gibi önemli havza bileşenlerinin zaman içerisindeki hareketini ve değişimlerini gösterme kabiliyetine sahiptir. SWAT içerisinde kullanılan sayısal yükseklik programı (SYP) ile havza alt havzalara bölünmektedir. SYP, havzayı her yönü ile tanımlamak ve özellikle arazi üzerindeki her bir bileşeni detaylandırmak amacıyla kullanılmaktadır. Aynı zamanda SWAT modelinde özellikle toprak çeşidini ve diğer arazi kullanım detay bilgilerini tanımlamak için dijital arazi kullanım haritalarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer yandan bir havzanın temelde su bütçesini oluşturmak için kullanılan hidrolojik işlem birimleri (HİB) (arazi kullanımı, toprak özellikleri, eğim sınıfları, yağış miktarı, yüzey akışı ve sıcaklık değişimleri gibi) ile birden fazla bileşene ayrılmaktadır. Bir havzanın su bütçesi aşağıdaki matematiksel ifade ile ortaya konulmaktadır;

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

Burada SW<sub>t</sub>; toplamda toprağın su içeriği (mm H<sub>2</sub>O), SW<sub>o</sub>; başlangıçta toprağın su içeriği (mm H<sub>2</sub>O), t; zaman (gün); R<sub>day</sub>; günlük yağış miktarı (mm); Q<sub>surf</sub>; günlük yüzey akışı miktarı (mm), E<sub>a</sub>; günlük bitki su tüketim miktarı (mm), w<sub>seep</sub>; günlük olarak topraktan doygunluk bölgesine giren su miktarı (mm), Q<sub>gw</sub>; günlük geri akış miktarı (mm).

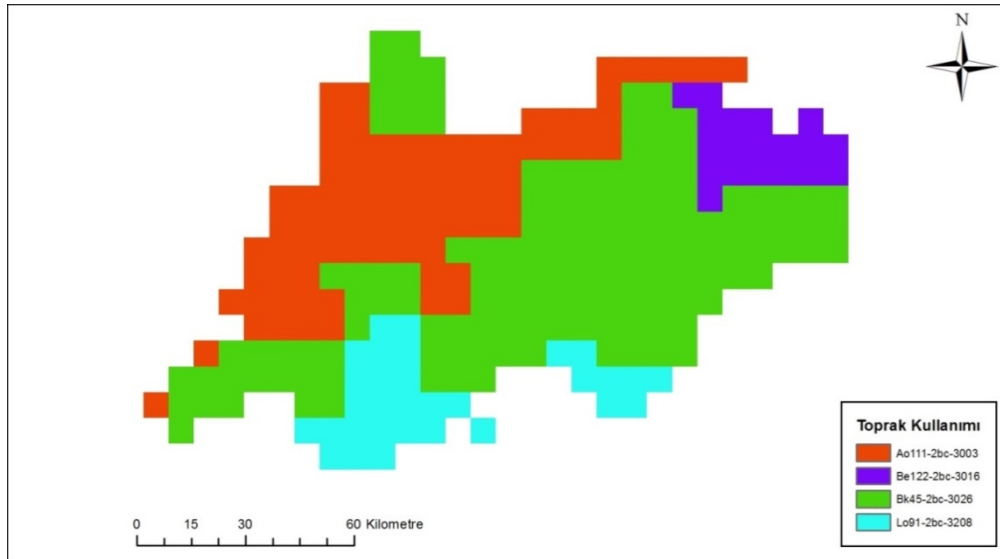
### 2.3. Hidrolojik İşlem Birimleri (Hydrologic Response Unit)

Hidrolojik işlem birimleri (HRU) söz konusu havza ile ilgili daha fazla bilgi toplayarak tanımlamak ve detaylandırmak için yararlanılan havza bileşenleridir. Yukarıda açıklandığı üzere arazi kullanımı, toprak özellikleri, eğim sınıfları, yağış miktarı, yüzey akışı ve iklim değişimleri gibi unsurlar bir havzayı tanımlamada kullanılan temel bileşenlerdir. Buna göre, ilk olarak Filyos Çayı Havzası'nın, havza sınırları ve akarsu ağ yapısı belirlendikten sonra, eğim sınıfları tespit edilmiştir. Bu işlem sırasında havza alanının dört eşit parçaya bölünmesi dikkate alınarak %0-10, %10-20, %20-34 ve %34'ten büyük olmak üzere dört farklı eğim sınıfı oluşturulmuştur (Şekil 2). Havza alanının %25'inin eğiminin %34'ten daha yüksek olması yükseklik farkını bir kez daha ortaya koymaktadır.



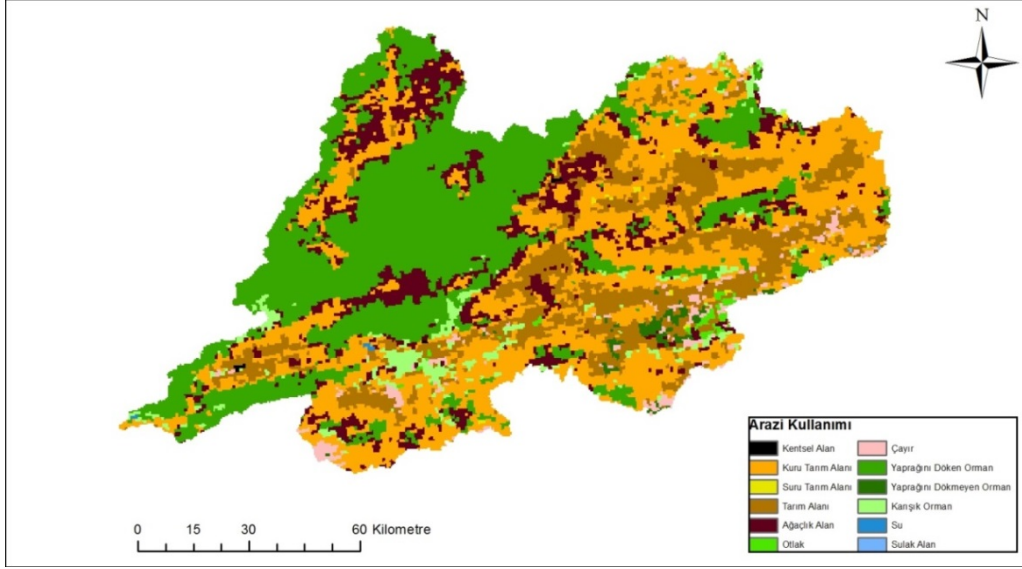
Şekil 2. Filyos Çayı Havzası eğim sınıfları  
(Figure 2. Filyos Creek Basin slope classes)

Bir diğer girdi, toprak tekstürü ve su tutma kapasitesi, hidrolik iletkenlik gibi fiziko-kimyasal özellikleri gösteren toprak haritalarıdır. Bu özellikler için de Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından modele uygun formatta oluşturulan toprak haritaları kullanılmıştır. Çalışma alanının içerisinde yer alan ve FAO tarafından sınıflandırılan dört farklı toprak tipi olmakla birlikte buna ait harita Şekil (3)'de gösterilmektedir. Buna göre çalışma alanının tamamındaki toprak tipi killi toprak olarak tanımlanmaktadır. Filyos Çayı Havzası alanının % 88'inin hidrolojik toprak grubu C iken, kalan%12'lik kısım D grubudur. Bu tip topraklardaki sızma hızı düşük olduğu için, yüksek yüzeysel akış potansiyellerine sahiptirler.



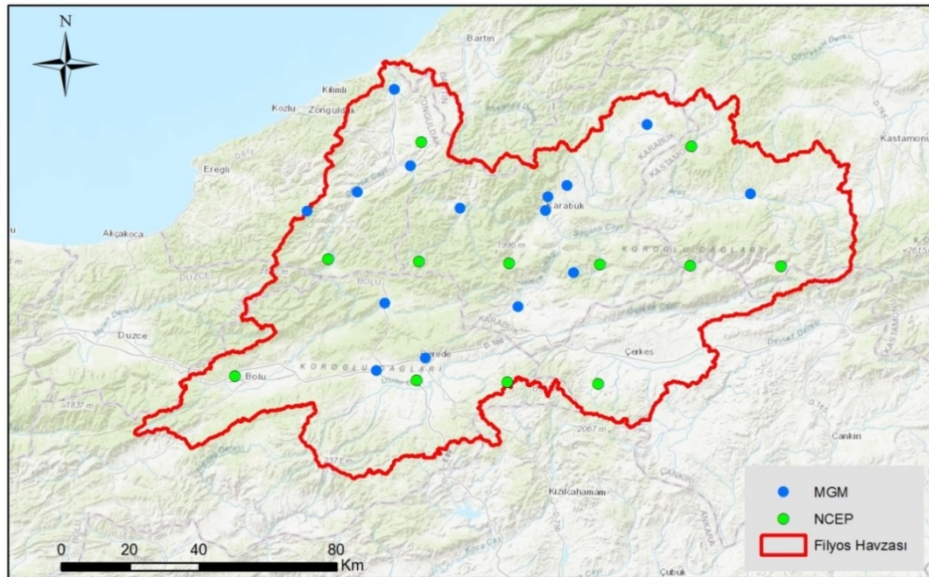
Şekil 3. Filyos Çayı Havzası toprak tipleri (FAO, 2003)  
(Figure 3. Filyos Creek Basin soil types (FAO,2003))

Diğer yandan havzada oluşan yüzeysel akış, buharlaşma, terleme ve taşınacak sediment miktarını büyük oranda etkileyen arazi kullanımı haritaları da Avrupa Çevre Ajansı'ndan (EEA) sağlanmıştır. Filyos Çayı Havzası arazi kullanım haritası Şekil (4)'de gösterilmektedir. Filyos Çayı Havzası'nın büyük bir kısmı tarım ve orman arazileri ile kaplıdır. Havzanın %48'i orman arazilerinden, %49,5'i tarım arazilerinden, kalan kısımda ova, mera, kentsel alan, su ve sulak alanlardan oluşmaktadır.



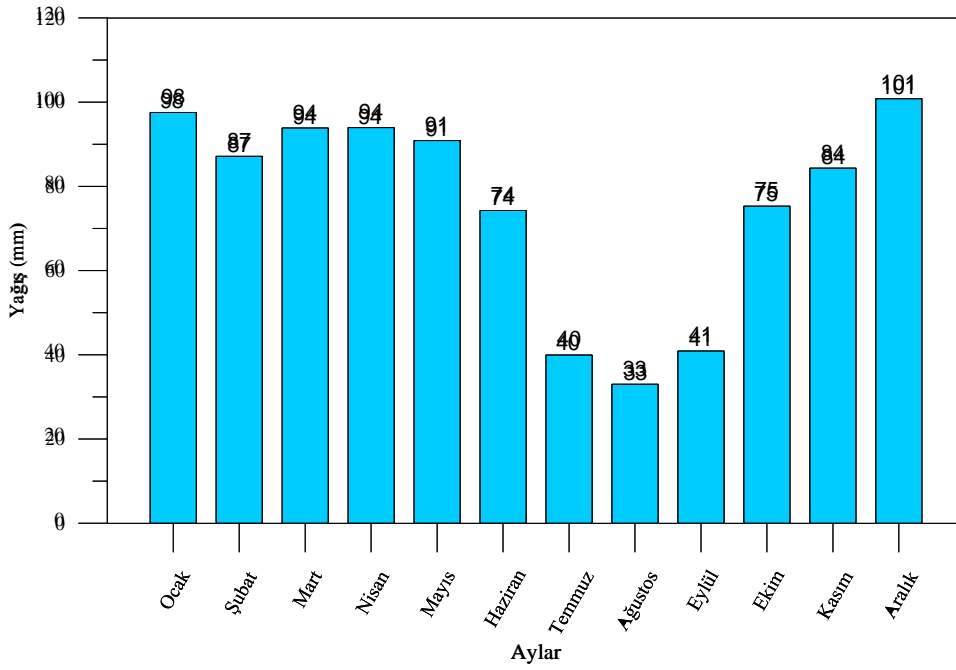
Şekil 4. Filyos Çayı Havzası arazi kullanımı (USGS 2000)  
(Figure 4. Filyos Creek Basin landuse (USGS,2000))

Hidrolojik bir modeli oluşturmada en önemli adım meteorolojik gözlem istasyonlarıdır. Filyos Çayı Havzası içerisinde yer alan meteoroloji istasyonlarına ilişkin bilgiler Şekil (5)'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Filyos Çayı Havzası meteoroloji istasyonları  
(Figure 5. Filyos Creek Basin meteorological stations)

Bununla beraber Filyos Çayı Havzası Karadeniz Bölgesi'nde yer aldığı için yılın tamamında yağış almaktadır. Havzanın toplam yıllık yağış miktarının uzun dönem ortalaması 912 mm'dir. 1979-2013 yılları arasında minimum yıllık toplam yağış 693 mm, maksimum yıllık toplam yağış ise 1269 mm olarak gerçekleşmiştir. Uzun dönem ortalamada aylık ortalama yağışın en fazla düştüğü ay 101 mm ile Aralık ayı olurken, aylık ortalama yağış miktarının en düşük olduğu ay ise 33 mm ile Ağustos ayıdır. Aylık ortalama yağış miktarı değişimi Şekil (6)'da gösterilmektedir.



**Şekil 6.** Aylık ortalama yağış miktarı (1979-2013)  
(Figure 6. Mean monthly rainfall (1979-2013))

Yıllık maksimum sıcaklık ortalamalarındaki durum, güneydoğu yönünden kuzey batı yönüne doğru gidildikçe 17 °C'den 13 °C değerine doğru azalmaktadır. Bunun en önemli sebebi, havzanın güneyi ile kuzeyi arasındaki yükseklik farkıdır. Yıllık minimum sıcaklık ortalamaları da benzer özellik gösterip havzanın güneyinden kuzeyine doğru 13 °C ile 2 °C arasında değişmektedir. Buradaki farkın maksimum sıcaklığa göre daha büyük olmasının sebebi, havzanın güneyinde 2000 metreden daha yüksek alanların bulunmasıdır.

#### 2.4. Model Kalibrasyonu ve Validasyonu (Model Calibration and Validation)

SWAT modelinde yer alan hidrolojik ve meteorolojik dataların simülasyonunu gerçekleştirmeden önce Filyos Çayı Havzasını temsil eden önemli model parametrelerin kalibrasyon ve validasyon prosesi ile tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada SWAT modelinin kalibrasyon periyodunda ve belirsizliklerin analizinde Abbasour vd. [36] tarafından geliştirilen SWAT-CUP (SWAT-Calibration and Uncertainty Program) isimli bir model programı kullanılmıştır. Diğer yandan bu çalışmada diğer yöntemlere göre daha az sayıda simülasyon gereksinimi duyması ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi nedeniyle SUFI-2 (Sequential Uncertainty Fitting) algoritması tercih edilmiştir [37]. Özellikle havza alanı büyük ve karmaşık bir yapıya sahipse bu yöntem kalibrasyon sırasında zaman açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır [36]. Kalibrasyon prosesinde modifiye edilmiş SWAT model parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1'de verilen bu parametreler çalışma alanı içerisinde maksimum ve minimum değer aralıkları arasında kalibrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kalibrasyon 1988 ile 1993 yılları arasında gerçekleştirilmiş olup, 1988 ile 2000 yılı aralığı da validasyon için kullanılmıştır. Modellerin performansları nitel olarak zaman serisi grafikleri, nicel olarak ise gözlem ve model verilerinin karşılaştırılmalarıyla hesaplanan belirleme katsayısı (R2), Nash-Sutcliffe verim katsayısı (NSE), yüzde sapma (PBIAS) gibi istatistiksel indeksler yardımıyla değerlendirilmektedir [38].

Modellerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan NSE ölçülen verilerin varyansı ile hata varyansının mutlak büyüklüğünü karşılaştıran normalize edilmiş bir istatistiksel ifadedir [39]. NSE katsayısı aşağıda denklem (2) ile gösterilen şekilde hesaplanmaktadır;

$$NSE = 1 - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2 \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{mean,i})^2 \right]} \quad (2)$$

Burada, NSE; Nash Sutcliffe Etkinlik katsayısı,  $Q_{obs}$  : Akarsu gözlem debisi ( $m^3/s$ ),  $Q_{sim}$  : Akarsu model debisi ( $m^3/s$ ) ve  $Q_{min}$  : İncelenen zaman aralığındaki ortalama akarsu gözlem debisi'dir ( $m^3/s$ ). NSE  $-\infty$  ile 1 arasında değişim göstermektedir. Bu katsayı için en uygun değer 1 olup, genel bakışa göre 0-1 aralığındaki NSE kabul edilebilir bir

sonuçken, NSE katsayısı  $\leq 0$  olduğu durumlarda model sonuçlarının kabul edilemeyecek performansa sahip olduğu düşünülmektedir [40].

**Çizelge 1.** Model kalibrasyonu için kullanılan parametrelerin değişim aralığı ve kalibrasyon değerleri  
(Table 1. Variation range and calibration values of parameters used for model calibration)

Parametre	Tanım	Değişim Aralığı	Kalibre edilen değer
r__CN2.mgt	Nem durumu II için SCS akış eğrisi sayısı	-0,35 – 0	-0,21
r__GWQMN.gw	Geri akış için sığ akiferdeki suyun eşik derinliği (mm)	-0,3 – 0,3	-0,06
r__GW_REVAP.gw	Yeraltı suyu katsayısı	-0,4 – 0,4	0,32
r__REVAPMN.gw	Sığ akiferdeki eşik derinliği	-0,4 – 0,4	-0,16
r__SOL_AWC(n).sol	Sığ akiferdeki eşik derinliği	-0,25 – 0,25	0,21
r__ESCO.hru	Topraktaki buharlaşma kompanzasyon faktörü	- 0,3 – 0,3	0,23
r__GW_DELAY.gw	Yeraltı suları gecikme süresi (gün)	-0,3 – 0,1	-0,15
v__RCHRG_DP.gw	Derin akifer sızdırma fraksiyonu	0 – 0,5	0,34
r__CH_N2.rte	Ana kanal için Manning faktörü	-0,25 – 0,25	0,23
r__CH_K2.rte	Ana kanaldaki etkili hidrolik iletkenlik (mm/sa)	-0,3 – 0,3	0,08
r__SURLAG	Yüzey akışı gecikme süresi	1-24	5,98
r__CANMX mm	Maksimum örtü deposu	0 - 100	10,6

“v\_” niteleyicisi, bir parametrenin verilen aralıktaki bir değerle değiştirilmesini belirtirken, “r\_” verilen aralıktaki değerlere 1 eklenerek elde edilen faktör ile çarpım işleminin gerçekleştirilmesini ifade eder.

PBIAS ise simulasyon değerlerinin ortalamadan ne kadar büyük veya küçük olduğunu ifade eden bir istatistiksel bir göstergedir. Denklem (3)'de gösterilen şekilde hesaplanmaktadır;

$$PBIAS = 100 \times \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i})} \right) \quad (3)$$

Burada; *PBIAS* : Ortalamadan sapma yüzdesi, *Q<sub>obs</sub>* : Akarsu gözlem debisi (m<sup>3</sup>/s) ve *Q<sub>sim</sub>* : Akarsu model debisidir (m<sup>3</sup>/s). *PBIAS* için en uygun değer sıfırdır. Bu değer sıfırdan büyük ise model sonuçları, gözlem verilerinden daha düşük tahmin edilmekte sıfırdan küçük ise model sonuçları, gözlem verilerinden daha yüksek tahmin edilmektedir [41].

RSR ise, hata indeks istatistiği olan hataların ortalama karekökünün (RMSE), gözlem verilerinin standart sapmasına (STDEV<sub>obs</sub>) oranlanmasıyla hesaplanan bir istatistiksel indekstir. RSR denklem (4)'te gösterilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$RSR = \left( \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} \right) = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(Q_{obs,i} - Q_{sim,i})}}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{mean,i})} \quad (4)$$

Burada, *RSR* : Hata istatistiği katsayısı, *Q<sub>obs</sub>* : Akarsu gözlem debisi (m<sup>3</sup>/s) ve *Q<sub>sim</sub>* : Akarsu model debisidir (m<sup>3</sup>/s). Aynı zamanda SWAT modeli çalışmalarında gerçekleştirilen kalibrasyon ve validasyon prosedürlerinin değerlendirme sonucunu gösteren ve Moriasi vd. [40] tarafından geliştirilen performans kriteri tablosu Çizelge.2'de verilmektedir.

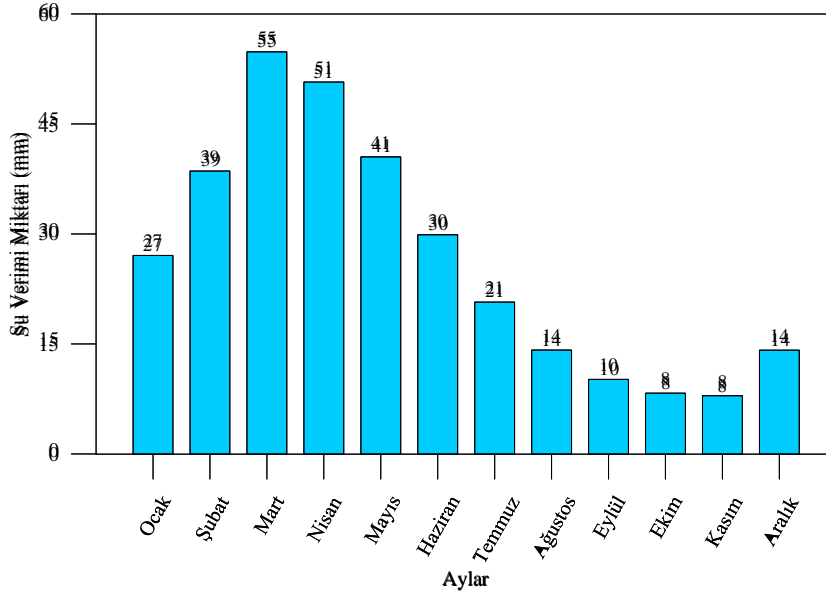
**Çizelge 2.** SWAT modeli kalibrasyon ve validasyon performanslarının değerlendirilme kriteri (Moriasi vd. 2007)  
(Table 2. Evaluation criteria of SWAT model calibration and validation performances (Moriasi et al. 2007))

Performans kriteri	NSE	RSR	PBIAS (%)
Çok iyi	0,75 < NSE ≤ 1,00	0,00 ≤ RSR ≤ 0,50	PBIAS < ±10
İyi	0,65 < NSE ≤ 0,75	0,50 < RSR ≤ 0,60	±10 ≤ PBIAS < ±15
Kabul edilebilir	0,50 < NSE ≤ 0,65	0,60 < RSR ≤ 0,70	±15 ≤ PBIAS < ±25
Kabul edilemez	NSE ≤ 0,50	RSR > 0,70	PBIAS ≥ ±15

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada ilk olarak Filyos Çayı Havzası'nın toplam yağış miktarları değerlendirilmiştir. Çalışma alanı Batı Karadeniz Havzası'nda yer almasından dolayı yılın tüm aylarında yağış almaktadır. Sadece Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında yaklaşık 35-40 mm aralığında yağış alan bölge yılın diğer aylarında 75 mm altına düşmemekte, Aralık ve Ocak aylarında bu miktar 100 mm'lere kadar çıkmaktadır. Diğer hidrolojik bileşenlerden birisi su verimi, ana kanalı besleyen su miktarı olarak ifade edilmektedir. Sürdürülebilir su kaynakları yönetimi için tahmin edilmesi önemli olan bir parametredir. SWAT modeli; su verimi miktarını, yüzeysel akış, yüzey altı akış ve yeraltı suyunun akarsuyu beslediği miktarı toplar, sonrasında bu iletimler sırasında oluşan kayıpları çıkartarak hesaplamaktadır. Çalışma alanı için su verimi miktarının aylara göre değişimi Şekil (7)'de gösterilmektedir.

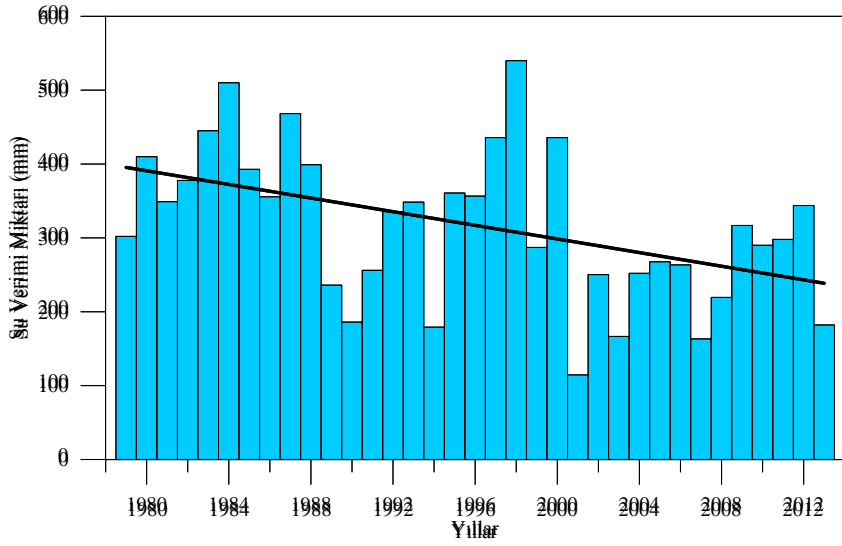
Model sonuçlarına göre, uzun dönem ortalamalarda yıllık toplam su verimi miktarı 318 mm'dir. Bu miktarın % 76'lık kısmı Ocak-Haziran ayları arasında gerçekleşirken, maksimum miktar 55 mm ile Mart ayında oluşmaktadır. Bunun en temel nedeni Mart ayında 21 mm ile eriyen kar miktarının maksimumda olmasıdır. Yılın tamamı incelendiğinde toplam yağış miktarı 912 mm olurken, bu yağışın %35'i olan 318 mm'lik su verimi miktarı gerçekleşmektedir. Havza içerisinde Ekim ayından başlayarak Haziran ayına kadar yoğun bir şekilde devam eden yağış, özellikle Ocak ayından sonra toprak neminin maksimuma ulaşmasını sağlamaktadır. Çalışma alanı için su verimi miktarının yıllara göre değişimi Şekil (8)'de gösterilmektedir. 1979 ile 1988 arasındaki 10 yıllık periyot ve 2004 ile 2013 arasında dönem karşılaştırıldığında gerçekleşen yıllık ortalama su verimi miktarı sırasıyla 401 mm ve 260 mm olmaktadır. Buda yaklaşık olarak % 35'lik bir azalmaya karşılık gelmektedir. Bunun temel nedeni bu bölgelerin daha fazla yağış alması ve yüksekliğe bağlı olarak yağış tipinin de kar olmasıdır.



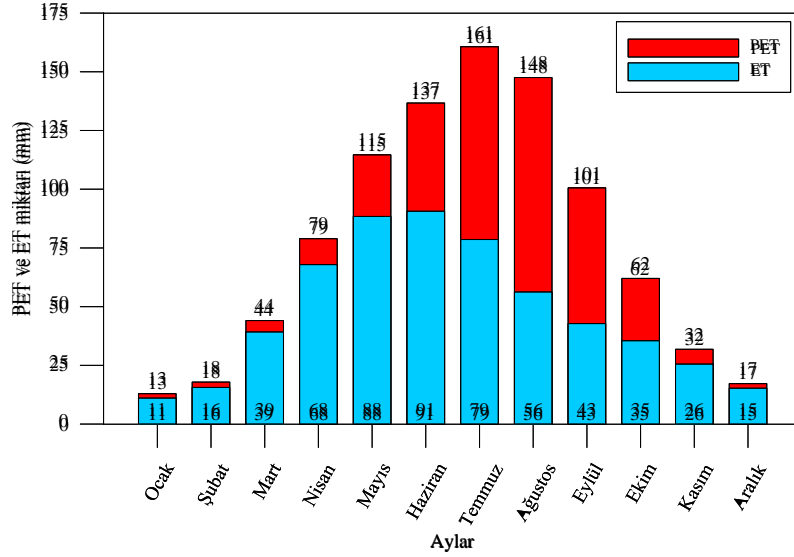
Şekil 7. Çalışma alanı için su verimi miktarının aylara göre değişimi (1979-2013)  
(Figure 7. Variation of the water yield for the study area by months (1979-2013))

Diğer bir önemli hidrolojik bileşen evapotranspirasyon (ET) ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) miktarlarıdır. ET, buharlaşma ve terleme toplamı, PET ise toprakta su kısıtlaması olmaksızın, düzenli olarak alanın tamamına dağılmış bitki örtüsü koşullarında gerçekleşecek maksimum buharlaşma ve terlemenin toplamıdır. Çalışma alanı için PET ve ET miktarlarının aylara göre değişimi Şekil (9)'de gösterilmektedir.

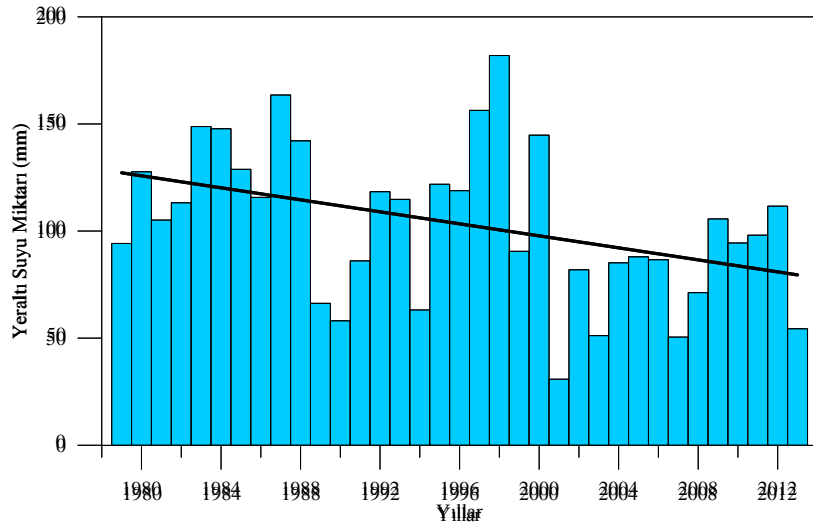
Önemli hidrolojik bileşenlerden birisi de yer altı suyu miktarıdır. Yer altı suyu, sızma sırasında toprak içerisinde kalan toprak nemi ve yüzeysel akışı besleyen kısım çıkarıldıktan sonra derin akifere ulaşan miktardır. Yeraltı suyu miktarının yıllara göre değişimi ise Şekil (10)'de gösterilmektedir. Yıllık toplam yeraltı suyuna ulaşan miktar 103 mm olup yıllık toplam yağışın %11,3'üne karşılık gelmektedir Modelin çalışma süresindeki (1979-2013) ilk 10 yıllık ve son 10 yıllık dönem arasındaki azalma değişiminin % 34 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8. Çalışma alanı için su verimi miktarının yıllara göre değişimi (1979-2013)  
(Figure 8. Variation of the water yield for the study area by years (1979-2013))

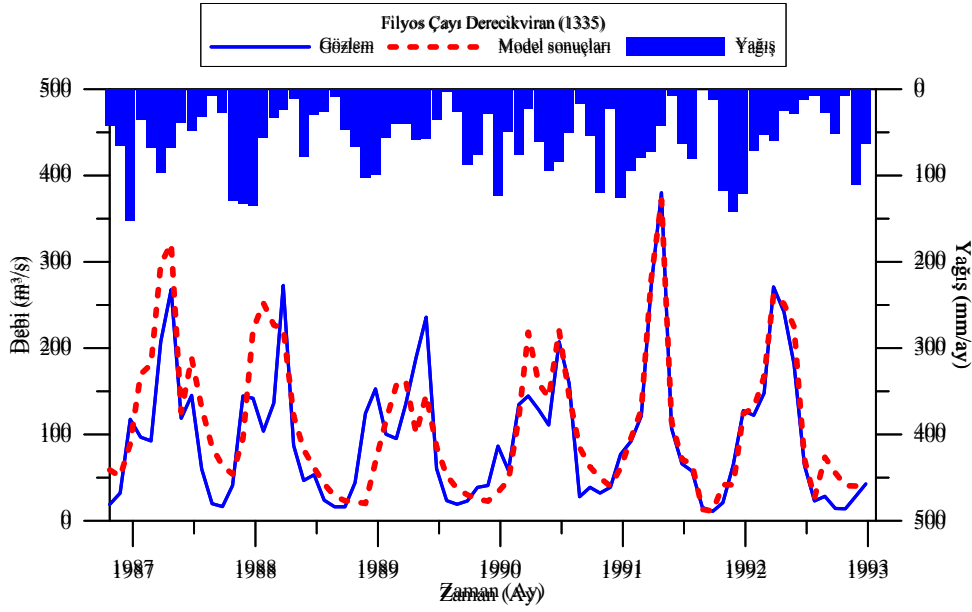


Şekil 9. Çalışma alanı için PET ve ET miktarlarının aylara göre değişimi (1979-2013)  
(Figure 9. Variation of the PET and ET for the study area by months (1979-2013))



Şekil 10. Çalışma alanı için yeraltı suyu miktarının yıllara göre değişimi (1979-2013)  
(Figure 10. Variation of the groundwater for the study area by years (1979-2013))

Filyos Çayı Havzası akım gözlem istasyonu verileri ve hidrolojik model sonuçları arasındaki karşılaştırmanın yapıldığı grafik Şekil (11)'de gösterilmektedir.



**Şekil 11** Filyos Çayı Havzası gözlem verileri ile model sonuçlarının karşılaştırılması  
(Figure 11. Comparison of Filyos Creek Basin observation data and model results)

İstatistiksel indekslere göre yapılan değerlendirmede ise NSE değerinin 0,67, PBIAS'ın -14,3 ve RSR'nin 0,57 olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre model performansının iyi ve çok iyi sınıfına girdiği görülmektedir [40]. Çizelge 3'de Filyos Çayı havzası için kalibrasyon ve validasyon sürecindeki SWAT modelinin hidrolojik performans sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 3.** Kalibrasyon ve validasyon sürecindeki SWAT modelinin hidrolojik performansı  
(Table 3. Hydrological performance of SWAT model during calibration and validation)

	Filyos Çayı Havzası		
	NSE	RSR	PBIAS(%)
<b>Kalibrasyon (1988 - 1993)</b>	0,67	0,57	-14,3
<b>Validasyon (1994 - 1999)</b>	0,72	0,52	-18,9

Sonuç olarak her iki tablodaki NSE, RSR ve PBIAS değerlerine göre; Filyos Çayı havzası için SWAT modeli kalibrasyon ve validasyon süreçlerinin oldukça iyi bir performansa sahip oldukları anlaşılmıştır. Şekil (11)'de kalibrasyon ve validasyon periyodunda Filyos Çayı Havzası akım ve yağış değerleri için verilen hidrografta, gözlenen ve model ile bulunmuş değerlerin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Başka bir ifade ile; bu sonuç Filyos Çayı Havzasındaki hidrolojik süreçleri tahmin etmek için geliştirilen SWAT'ın oldukça iyi ve güvenli bir model olduğunu göstermektedir.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, Batı Karadeniz Havzası'nın en büyük havzası olan Filyos Çayı Havzası için SWAT modeli kullanılarak bir hidrolojik model altyapısı oluşturulmuştur. Kurulan bu model altyapısı sayesinde öncelikle su verimi, eriyen kar miktarı, potansiyel evapotranspirasyon, yeraltı suyu akışı gibi birçok hidrolojik bileşenin sonuçları elde edilerek, bu sonuçlar üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Hidrolojik bileşenlerin tamamında 1979-2013 yılları arasındaki uzun dönemde azalma eğilimindedir. Su veriminde %35, sızma miktarında %41, yeraltı suyu miktarında ise %34 gibi ciddi azalmalar dikkat çekmektedir. Diğer yandan bu çalışmada Filyos Çayı havzası için geliştirilen SWAT modelinin kalibrasyonu ve validasyonu istatistiksel indeksler; NSE, RSR ve PBIAS parametre değerleri baz alarak gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon ve validasyon süreçlerinde bulunan NSE, RSR ve PBIAS değerleri Morris ve vd. 2007 tarafından geliştirilen performans kriter tablosu (Çizelge 2) ile karşılaştırılmış ve SWAT kalibrasyon ve validasyon süreçlerinin oldukça iyi bir performansa sahip oldukları ortaya konulmuştur. Neticede bu çalışma SWAT modelinin Filyos Çayı havzasındaki su akımı ve yağış gibi hidrolojik



proseslerin tahmininde kullanılabilecek güvenli ve iyi bir araç olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Bununla beraber herhangi bir su toplama havzasındaki hidrolojik prosesler ve su kaynaklarının yönetiminin birçok parametre içeren karmaşık modellerden kullanmadan daha güvenli ve basit bir şekilde SWAT modeli ile gerçekleştirilebilir. Bu çalışmanın sonuçları aynı zamanda gelecekte su havzalarının yönetimi konusunda iklim değişikliğinin hidrolojik bileşenlere etkisi ile beraber sediment başta olmak üzere havzadaki su kaynaklarında bulunan azot ve fosfor gibi su kalitesi bileşenlerinin miktar ve etkileri ile ilgili yaklaşımlarda SWAT modelinin kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda konu ile ilgili geçmişte yapılan araştırmalar bu çalışmanın sonuçlarını doğrulamaktadır [42, 43, 44].

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] AM. Melesse, D. Webber, A. Haiduk, SG. Seteng, X. Wang, ME. McClain, Modeling hydrological variability of fresh water resources in the Rio Cobre watershed, Jamaica. *Catena.*, 120 (2014) 81-90. doi: 10.1016/j.catena.2014.04.005
- [2] KC. Abbaspour, E. Rouholahnejad, S. Vaghefi, R. Srinivasan, H. Yang, B. Klove, A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *J. Hydrol.*, 524 (2015) 733-752. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.03.027
- [3] B. Klove, P. Ala-Aho, G. Bertrand, JJ. Gurdak, H. Kupfersberger, J. Kvorner, T. Muotka, H. Mykrä, E. Preda, P. Rossi, C. Bertacchi Uvo,, E. Velasco, P. Wachniew, M. Pulido-velázquez, Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. *J. Hydrol.*, 518 (2014) 250–266. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.06.037
- [4] H. Yang, P. Reichert, KC. Abbaspour, AJB. Zehnder, A water resources threshold and its implications for food security. *Environ. Sci. Technol.*, 37 (14) (2003) 3048–3054. doi: 10.1021/es0263689
- [5] UN Report. 2012. Managing Water Under Uncertainty and Risk. The United Nations World Water Development Report 4, vol. 1. UNESCO Publishing.
- [6] P.R. Ehrlich, P.M. Kareiva, G.C. Daily, Securing natural capital and expanding equity to rescale civilization. *Nature.*, 486 (2012) 68–73. doi: 10.1038/nature11157
- [7] S. Suweis, A. Rinaldo, A. Maritan, P. D'Odorico, Water-controlled wealth of nations. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110 (2013) 4230–4233.
- [8] B. Wible, Science for sustainable development. *Science.*, 336 (2012) 1396–1398. doi: 10.1126/science.1224530
- [9] J. Alcamo, C.J. Vörösmarty, R.J. Naiman, D. Lettenmaier, C.Pahl-Wostl, A grand challenge for freshwater research: understanding the global water system. *Environ. Res. Lett.*, 3 (2008) 1–6. doi: 10.1088/1748-9326/3/1/010202
- [10] H. Qi, M.S. Altinakar, A conceptual framework of agricultural land use planning with BMP for integrated watershed management. *J. Environ. Manag.*, 92 (2011) 149–155. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.08.023
- [11] S. Polasky, E. Nelson, D. Pennington, K.A. Johnson, The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: a case study in the state of Minnesota. *Environ. Resour. Econ.*, 48 (2011) 219–242. doi: 10.1007/s10640-010-9407-0
- [12] X. Zhang, L. Zhang, J. Zhao, P. Rustomji, P. Hairsine, Responses of streamflow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China. *Water Resour. Res.*, 44 (2008). doi: 10.1029/2007WR006711
- [13] M.I. Mahmoud, H.V. Gupta, S. Rajagopal, Scenario development for water resources planning and watershed management: methodology and semi-arid region case study. *Environ. Model. Softw.*, 26 (2011) 873–885. doi: 10.1016/j.envsoft.2011.02.003
- [14] Z.H. Shi, L. Ai, N.F. Fang, H.D. Zhu, Modeling the impacts of integrated small watershed management on soil erosion and sediment delivery: a case study in the Three Gorges Area, China. *J. Hydrol.*, 438 (2012) 156–167. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.03.016
- [15] H. Bormann, L. Breuer, T. Gräff, J.A. Huisman, Analysing the effects of soil properties changes associated with land use changes on the simulated water balance: a comparison of three hydrological catchment models for scenario analysis. *Ecol. Model.*, 209 (2007) 29–40. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2007.07.004
- [16] Zampella, R.A., Procopio, N.A., Lathrop, R.G., Dow, C.L. 2007. Relationship of land-use, land-cover patterns and surface-water quality in the Mullica River Basin. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 43 (2007) 594–604. doi:10.1111/j.1752-1688.2007.00045.x
- [17] M. Arabi, R.S. Govindaraju, M.M. Hantush, Role of watershed subdivision on evaluation of long-term impact of best management practices on water quality. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 42 (2006) 513–528. doi: 10.1111/j.1752-1688.2006.tb03854.x
- [18] K.R. Douglas-Mankin, R. Srinivasan, J. Arnold, Soil and water assessment tool (SWAT) model: current developments and applications. *Trans. ASABE.*, 53 (2010) 1423–1431. doi: 10.13031/2013.34915

- [19] M.I. Lvovitch, The global water balance. *Trans. Am. Geophys. Union.*, 54 (1973) 28–42. doi: 10.1029/EO054i001p00028
- [20] A. Baumgartner, E. Reichel, *The World Water Balance*. Elsevier, New York, (1975) 182.
- [21] B. Hingray, C. Picouet, A. Musy, *Hydrology A Science for Engineers*, ISBN: 9781466590595, CRC Press Taylor & Francis Group, USA. (2015).
- [22] J.G. Arnold, R. Srinivasan, R.S. Muttiah, J.R. Williams, Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 34 (1) (1998)73–89. doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x
- [23] C. He, Integration of geographic information systems and simulation model for watershed management. *Environ. Model. Softw.*, 18 (2003) 809–813. doi: 10.1016/S1364-8152(03)00080-X
- [24] T.J. Baker, S.N. Miller, Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. *J. Hydrol.*, 486 (2013) 100-111. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.01.041
- [25] J. Brzozowski, Z. Miatkowski, D. Śliwiński, K. Smarzyńska, M. Śmietanka, Application of SWAT model to small agricultural catchment in Poland. *J. Water Land Dev.*, 15 (2011) 157–166. doi: 10.2478/v10025-012-0014-z
- [26] L. Cheng, Z.X. Xu, R. Luo, Y.J. Mi, SWAT Application in arid and semi-arid regions: a case study in Kuye River basin. *Geogr. Res.*, 28 (2009) 65–74. doi: 10.11821/yj2009010009
- [27] G.O. Gül, D. Rosbjerg, Modelling of hydrologic processes and potential response to climate change through the use of a multisite SWAT. *Water Environ. J.*, 24 (2010) 21–31. doi: 10.1111/j.1747-6593.2008.00146.x
- [28] S.G. Thampi, K.Y. Raneesh, T.V. Surya, Influence of scale on SWAT model calibration for streamflow in a river basin in the humid tropics. *Water Resour. Manag.*, 24: (2010)4567–4578. doi:10.1007/s11269-010-9676-y
- [29] R. Srinivasan, X. Zhang, J. Arnold, Swat Ungauged: Hydrological Budget and Crop Yield Predictions in the Upper Mississippi River Basin. *Trans. Asabe.*, 53 (5) (2010) 1533-1546. doi:10.13031/2013.34903
- [30] Y P. Wu, J. Chen, Analyzing the Water Budget and Hydrological Characteristics and Responses to Land Use in a Monsoonal Climate River Basin in South China. *Environ. Manage.*, 51 (6) (2013) 1174-1186. doi: 10.1007/s00267-013-0045-5
- [31] C. Tao, X L. Chen, J Z. Lu, P W. Gassman, S. Sabine, S P. Jose-Miguel, Assessing impacts of different land use scenarios on water budget of Fuhe River, China using SWAT model. *Int. J. Agr. Biol. Eng.*, 8 (3): (2015) 95-109. doi: 10.3965/j.ijabe.20150803.1132
- [32] Ö. Güngör, S. Göncü, Application of the soil and water assessment tool model on the Lower Porsuk Stream Watershed. *Hydrol. Process.*, 27 (3) (2013) 453-466. doi: 10.1002/hyp.9228
- [33] D E. Akyüz, S. Kaya, D Z. Seker, S. Kabdasli, Definition of Flood Risky Areas with Calculation of Stream Water Velocity Via Using Numerical Model: Case Study of Filyos River, Turkey. *Fresen Environ Bull.*, 23 (12) (2014) 3022-3028.
- [34] TÜBİTAK-MAM,. Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Batı Karadeniz Havzası Proje Nihai Raporu, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Kocaeli. (2013).
- [35] JG. Arnold, N. Fohrer, SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modelling. *Hydrol. Process.*, 19(3) (2005) 563-572. doi: 10.1002/hyp.5611
- [36] K C. Abbaspour, C A. Johnson, M T. Van Genuchten, Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose Zone J.*, 3 (4) (2004) 1340-1352. doi: 0.2113/3.4.1340
- [37] J. Yang, P. Reichert, K C. Abbaspour, J. Xia, H. Yang, Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China. *J. Hydrol.*, 358 (1-2) (2008) 1-23. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.05.012
- [38] B A. Tolson, C A. Shoemaker, Cannonsville Reservoir Watershed SWAT2000 model development, calibration and validation. *J. Hydrol.*, 337 (1–2) (2007) 68-86. doi: 10.1016/j.jhydrol.2007.01.017
- [39] J E. Nash, J V. Sutcliffe, River flow forecasting through conceptual models, I, A discussion of principles. *J. Hydrol.*, 10: (1970) 282-290. doi: 10.1016/0022-1694(70)90255-6
- [40] D N. Moriasi, J G. Arnold, M W. Van Liew, R L. Bingner, R D. Harmel, T L. Veith, Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE.*, 50 (3): (2007) 885-900. doi: 10.13031/2013.23153

- [41] H V. Gupta, S. Sorooshian, P O. Yapo, Status of Automatic Calibration for Hydrologic Models: Comparison with Multilevel Expert Calibration. *J. Hydrol. Eng.*, 4 (2) (1999) 135-143. doi: 10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135)
- [42] M.A. Andrade, C.R. Mello, S. Beskow, Hydrological simulation in a watershed with predominance of Oxisol in the Upper Grande river region, MG — Brazil. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.*, 17 (2013) 69–76. doi:10.1590/S1415-43662013000100010
- [43] M.R. Viola, C.R. Mello, M. Giongo, S. Beskow, A.F. Santos, Hydrological modeling in a watershed of the Lower Araguaia River Basin, TO. *J. Biotechnol. Biodivers.*, 3: (2012) 38–47.
- [44] R. Aragão, M.A.S. Cruz, J.R.A. Amorim, L.C. Mendonça, E.E. Figueiredo, V.S. Srinivasan, Sensitivity analysis of the parameters of the SWAT model and simulation of the hydrosedimentological processes in a watershed in the northeastern region of Brazil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.*, 37 (2013) 1091–1102. doi: 10.1590/S0100-06832013000400026

## Ridge Tahminine Dayalı Kantil Regresyon Analizinde Yanlılık Parametresi Tahminlerinin Performanslarının Karşılaştırılması

Murat ERİŞOĞLU<sup>1\*</sup> , Nurullah YAMAN<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 42090, Meram, Konya, Türkiye

<sup>2</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, 42090, Konya, Türkiye

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

(Geliş/Received: xx.xx.2019; Kabul/Accepted: xx.xx.2019; Online baskı/Published online: 09.12.2019)

### ÖZET

Bu çalışmada aykırı gözlemlerin varlığında en küçük kareler regresyonuna alternatif olarak kullanılan kantil regresyonunda çoklu bağlantı probleminin çözümü ele alınmıştır. Kantil regresyonunda çoklu bağlantı probleminin çözümünde ridge regresyon yaklaşımı kullanılmıştır. Ridge tahminine dayalı kantil regresyonunda bazı yanlılık parametre tahminlerinin performansı hata kareler ortalamasına göre karşılaştırılmıştır. Simülasyon çalışması sonuçlarına göre Hocking, Speed ve Lynn (1976) ile Kibria (2003) tarafından önerilen yanlılık parametre tahmin edicileri daha başarılı bir performans göstermişlerdir.

**Anahtar Kelimeler:** Kantil regresyon, Ridge regresyonu, Çoklu bağlantı, Aykırı gözlem, Çapraz doğruluk

### A Comparison of Performances of the Estimations of the Bias Parameter in the Quantile Regression Analysis Based on Ridge Estimation

### ABSTRACT

In this study, the solution of the multicollinearity problem was investigated in the quantile regression which is used as an alternative to the least squares regression in case the outliers. The ridge regression approach was used to solve the multicollinearity problem in quantile regression. In the quantile regression based on ridge estimation, the performance of some bias parameter estimates was compared according to the mean error squares. According to the results of the simulation study, the bias parameter estimators proposed by Hocking, Speed and Lynn (1976) and Kibria (2003) showed a more successful performance.

**Key Words:** Quantile regression, Ridge regression, Multicollinearity, Outliers, Cross validation

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çoklu doğrusal regresyon modeli,

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (1)$$

eşitliği ile ifade edilir. Eşitlikte yer alan  $\mathbf{y}$ :  $n \times 1$  boyutlu gözlem vektörünü,  $\mathbf{X}$ :  $n \times p$  boyutlu standartlaştırılmış açıklayıcı değişkenlerin  $n \times p$  boyutlu bilinen tasarım matrisini,  $\boldsymbol{\beta}$ :  $p \times 1$  boyutlu bilinmeyen regresyon katsayılar vektörünü ve  $\boldsymbol{\varepsilon}$ :  $n \times 1$  boyutlu 0 ortalama vektörü ve  $\sigma^2 \mathbf{I}_n$  varyans kovaryans matrisi ile çok değişkenli normal dağılıma sahip rastgele hata vektörünü göstermektedir. Regresyon katsayılarının tahmininde en yaygın kullanılan yöntem hataların kareleri toplamını,

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \mathbf{x}_i \boldsymbol{\beta})^2 \quad (2)$$

en küçükleme amaçlayan en küçük kareler (EKK) yöntemidir. Regresyon katsayılar vektörü  $\boldsymbol{\beta}$ 'nin EKK tahmini

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: merisoglu@erbakan.edu.tr / Tel: +90 332 323 8220-(5815)

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (3)$$

ile elde edilir. Model varsayımlarının geçerli olması durumunda EKK tahminleri yansız ve en küçük varyansa sahip tahmin edicidir. Çoklu doğrusal regresyon modelinde açıklayıcı değişkenlerin karşılıklı ilişkisiz olduğu varsayılır. Ancak uygulamada açıklayıcı değişkenler arasında yüksek ya da güçlü doğrusal ilişkiler olabilir ve bu durum çoklu bağlantı problemine neden olur. Çoklu bağlantı probleminde EKK tahminlerinin yansızlık özelliği korunsa bile en küçük varyansa sahip olma yani etkinlik özelliği bozulur. Çoklu bağlantı problemi, regresyon katsayılarının tahminlerinin varyansının büyük olmasına ve buna bağlı olarak istatistiksel çıkarımların yanlış sonuçlar üretmesine neden olmaktadır[1]. Çoklu bağlantı probleminin çözümünde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri Hoerl ve Kennard [2] tarafından önerilen ridge regresyondur. Çoklu bağlantı probleminde, ridge regresyonu yan ekleyerek varyansı daha küçük tahminler elde etme için kullanılır. Regresyon katsayılar vektörü  $\beta'$ 'nin tahmininde,

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \mathbf{x}_i\beta)^2 + k\beta'\beta \quad (4)$$

şeklinde ifade edilen fonksiyonu en küçüklenmeyi amaçlayan ridge tahmini,

$$\hat{\beta}(k) = (\mathbf{X}'\mathbf{X} + k\mathbf{I}_p)^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (5)$$

eşitliği ile elde edilir. Eşitlikte yer alan  $k$  yanlılık parametresi olarak ifade edilmektedir. Yanlılık parametresi tahminlerin varyansının değişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle yanlılık parametresinin seçimi oldukça önemlidir [3]. Yanlılık parametresinin seçimi için birçok yöntem önerilmiştir.

Bu çalışmada aykırı gözlem, hata terimlerinin normal olmayan bir dağılım göstermesi veya farklı varyanslılık gibi durumlarda kullanılan alternatif regresyon yöntemlerinden kantil regresyon analizinde çoklu bağlantı probleminin çözümü incelenmiştir. Çoklu bağlantı probleminin çözümünde ridge tahminine dayalı kantil regresyonu kullanılmıştır. Yanlılık parametresinin tahmini için önerilen bazı tahmin yöntemlerinin ridge tahminine dayalı kantil regresyondaki performansları hata kareler ortalaması ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde kantil regresyonu, üçüncü bölümünde ridge tahminine dayalı kantil regresyonu verilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde, seçili parametre değerlerine göre yanlılık parametresinin tahmininde kullanılan tahmin edicilerin performansları simülasyon çalışması ile incelenmiştir. Çalışmanın beşinci bölümünde aykırı gözlem ve çoklu bağlantı problemi içeren tobacco veri setinde tekrarlı  $k$  katmanlı çapraz doğrulama ile yanlılık parametre tahminlerinin etkinliği karşılaştırılmıştır. Son olarak çalışmadan elde edilen bulgular sonuç bölümünde verilmiştir.

## 2. KANTİL REGRESYONU (QUANTILE REGRESSION)

Hata terimlerinin normal olmayan bir dağılıma sahip olması veya aykırı gözlemlerin olması durumunda EKK tahminlerinin alternatifi olarak kullanılan sağlam (robust) yöntemlerden biri de kantil regresyondur[4]. Kantil regresyonu aykırı gözlemlere veya hata terimlerinin normal olmayan bir dağılıma sahip olması durumlarına karşı hassas olmadığından dolayı sağlam yöntem olarak ifade edilmektedir. EKK yönteminde açıklayıcı değişkenler ile cevap değişkeni arasındaki ilişki, açıklayıcı değişkenler bilindiğinde cevap değişkeninin koşullu ortalaması olarak modellenir[5]. Koenker ve Bassett [6] tarafından önerilen kantil regresyon yönteminde ise koşullu kantil ile modelleme gerçekleştirilir[7]. Kantil regresyon yönteminde hata terimlerinin varyans yapısına ilişkin herhangi bir varsayım bulunmamaktadır[8]. Bundan dolayı değişen varyans durumunda da kantil regresyonu, EKK yöntemi için alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Kantil regresyonunda,

$$\sum_{i=1}^n \rho_{\tau}(y_i - \mathbf{x}_i\beta) \quad (6)$$

eşitliği ile ifade edilen amaç fonksiyonu en küçüklenmeye çalışılır. Eşitlikte yer alan  $\rho_{\tau}(\cdot)$  fonksiyonu,

$$\rho_{\tau}(\cdot) = \begin{cases} \tau(y_i - \mathbf{x}_i\beta) & \text{eğer } (y_i - \mathbf{x}_i\beta) \geq 0 \\ (\tau - 1)(y_i - \mathbf{x}_i\beta) & \text{eğer } (y_i - \mathbf{x}_i\beta) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

seçilen  $\tau$  ( $0 < \tau < 1$ ) kantil değerine göre bir mutlak değer fonksiyonu olarak değerlendirilebilir. Kantil regresyonunda Eşitlik (6) ile ifade edilen amaç fonksiyonunun analitik çözümü yoktur. Kantil regresyonunda katsayılarının tahmini için iteratif algoritmalar veya doğrusal programlama yaklaşımı kullanılır [9]. Regresyon katsayılarının tahmini için kullanılan algoritmalarda yaygın olarak katsayılar başlangıç tahmin vektörü olarak EKK yöntemi ile elde edilen regresyon katsayılar tahmin vektörü kullanılmaktadır.

### 3. RIDGE TAHMİNİNE DAYALI KANTİL REGRESYONU (QUANTILE REGRESSION BASED ON RIGE ESTIMATION)

Kantil regresyon yönteminde çoklu bağlantı probleminin çözümünde yanlı tahmin yöntemleri uygulanabilir[10-12]. Ridge tahminine dayalı kantil regresyon yönteminde Eşitlik (8) ile belirtilen amaç fonksiyonu en küçüklenmeye çalışılır.

$$\sum_{i=1}^n \rho_{\tau}(y_i - \mathbf{x}_i \boldsymbol{\beta}) + k \boldsymbol{\beta}' \boldsymbol{\beta} \quad (8)$$

Ridge tahminine dayalı kantil regresyon yönteminde, katsayılar tahmin vektörünün elde edilmesinde kullanılan algoritmalarda başlangıç katsayılar tahmin vektörü olarak çoklu regresyonda ridge yöntemi ile elde edilen katsayılar vektörü kullanılabilir. Ridge yaklaşımında katsayıların tahmininde k yanlılık parametresinin seçimi oldukça önemlidir. Literatürde yanlılık parametresinin seçimi için birçok yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemler Eşitlik (1) ile ifade edilen regresyon modelinin,

$$\mathbf{y} = \mathbf{Z}\boldsymbol{\alpha} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (9)$$

eşitliği ile ifade edilen kanonik formuna dayalıdır. Eşitlikte yer alan  $\mathbf{Z} = \mathbf{XD}$ ,  $\mathbf{D}'\mathbf{D} = \boldsymbol{\Lambda} = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_p)$  ve  $\boldsymbol{\alpha} = \mathbf{D}'\boldsymbol{\beta}$  olur. Burada  $\lambda_1, \dots, \lambda_p$  değerleri  $\mathbf{X}'\mathbf{X}$  matrislerinin özdeğerlerini göstermektedir ve  $\mathbf{D}$  ortogonal bir matristir. Literatürde önerilen bazı yanlılık parametresi tahmin değerleri aşağıda verilmiştir.

Hoerl ve Kennard [2] yanlılık parametresi k tahmini için,

$$\hat{k}_{HK} = \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}_{enb}^2} \quad (10)$$

eşitliğini önermişlerdir. Burada  $\hat{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - p)$  ve  $\hat{\alpha}_{enb}$  en büyük  $\hat{\alpha}$  değerini göstermektedir.

Hoerl, Kennard ve Baldwin [13] yanlılık parametresinin tahmininde, her  $\hat{\alpha}_i$  için elde edilecek  $\hat{k}_i = \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}_i^2}$  tahminlerinin harmonik ortalamasının kullanımını önerdiler.

$$\hat{k}_{HKB} = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\sum_{i=1}^p \hat{\alpha}_i^2} = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\hat{\boldsymbol{\alpha}}'\hat{\boldsymbol{\alpha}}} \quad (11)$$

Lawless ve Wang [14] yanlılık parametresinin tahmininde bayesci bir yaklaşım kullanarak

$$\hat{k}_{LW} = \frac{p\sigma^2}{\sum_{i=1}^p \lambda_i \hat{\alpha}_i^2} = \frac{p\sigma^2}{\hat{\boldsymbol{\alpha}}'\mathbf{X}'\mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\alpha}}} \quad (12)$$

eşitliğini önermişlerdir.

Hocking, Speed ve Lynn [15] yanlılık parametresinin tahmini için

$$\hat{k}_{HSL} = \hat{\sigma}^2 \frac{\sum_{i=1}^p (\lambda_i \hat{\alpha}_i)^2}{(\sum_{i=1}^p \lambda_i \hat{\alpha}_i^2)^2} \quad (13)$$

eşitliğini önermişlerdir.

Kibria [16] yanlılık parametresinin tahmininde,  $\hat{k}_i = \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}_i^2}$  tahminlerinin aritmetik ortalaması ( $\hat{k}_{AM}$ ), geometrik ortalaması ( $\hat{k}_{GM}$ ) ve medyanını ( $\hat{k}_{MED}$ ) kullanmayı önermiştir.

$$\hat{k}_{AM} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}_i^2} \quad (14)$$

$$\hat{k}_{GM} = \frac{\hat{\sigma}^2}{(\prod_{i=1}^p \hat{\alpha}_i^2)^{\frac{1}{p}}} \quad (15)$$

$$\hat{k}_{MED} = \text{Median} \left\{ \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\alpha}_i^2} \right\}, \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (16)$$

Khalaf ve Shukur [17], yanlılık parametresinin tahmini için Hoerl ve Kennard (1970) tarafından önerilen  $\hat{k}_{HK}$  tahmininin modifikasyonuna dayanarak

$$\hat{k}_{KS} = \frac{\lambda_{\max} \hat{\sigma}^2}{(n-p) \hat{\sigma}^2 + \lambda_{\max} \hat{\alpha}_{\max}^2} \quad (17)$$

tahminini önermişlerdir.

#### 4. SİMÜLASYON (SIMULATION)

Bu bölümde ridge tahminine dayalı kantil regresyonunda yanlılık parametresi  $k$  tahminlerinin performansını karşılaştırmak için bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışması için çoklu bağıntı problemi ve aykırı gözlemler içeren yapay veri setleri oluşturulmuştur. Regresyon modelinde yer alan açıklayıcı değişkenler çoklu bağıntı içerecek şekilde

$$x_{ij} = (1 - \rho^2)^{1/2} w_{ij} + \rho w_{ip}, \quad i = 1, \dots, n \text{ ve } j = 1, \dots, p \quad (18)$$

eşitliği ile üretilmiştir [18, 19]. Eşitlikte yer alan  $\rho$  açıklayıcı değişkenler arasındaki korelasyon katsayısını,  $w_{ij}$  gösterimi ise standart normal dağılımından üretilen rasgele değeri göstermektedir. Simülasyon çalışmasında açıklayıcı değişkenler,  $X'X$  matrisi korelasyon formunda olacak şekilde standartlaştırılmıştır.  $\beta$  regresyon katsayılar vektörü MSE değerini en küçükleyecek şekilde  $X'X$  matrisinin en büyük özdeğerine karşılık gelen özvektör olarak seçilmiştir [16]. Çoklu regresyon modelinde yanıt değişkeninin değerleri

$$y_i = \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i \quad (19)$$

eşitliği ile oluşturulmuştur. Hata terimleri  $\varepsilon_i$ ,  $N(0, \sigma^2)$  dağılımından üretilmiştir. Veri setlerinde aykırı gözlem oluşturmak için iki yanıt değişkeninin değeri  $y_i^* = y_i + 10\sigma$  eşitliği ile dönüştürülmüştür. Böylece simülasyon çalışmasında %20, %6.7 ve %2 aykırı gözlem oranları ile çalışılmıştır. Bu çalışmada açıklayıcı değişken sayısı  $p = 4$  alınmıştır ve diğer model parametreleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$\tau = 0.25, 0.50$  ve  $0.75$   
 $n = 10, 30$  ve  $100$   
 $\sigma = 0.2$  ve  $0.5$   
 $\rho^2 = 0.95$  ve  $0.99$

Ridge tahminine dayalı kantil regresyonunda üretilen her yapay veri seti için yanlılık parametresinin tahmininde Eşitlik (10) ile (17) arasında tanımlanan sekiz tahmin edici kullanılmıştır. 10000 tekrar ile gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında, yanlılık parametresinin tahminlerinin performansları, yanlılık parametresi tahminine dayalı elde edilen tahmin edicilerin toplam hata kareler ortalaması

$$\text{MSE}(\hat{\beta}_k) = \frac{1}{10000} \sum_{i=1}^{10000} \sum_{j=1}^4 (\beta_j - \hat{\beta}_{k,j})^2 \quad (20)$$

kriterine göre değerlendirilmiştir. Seçili parametre değerlerine göre gerçekleştirilen simülasyon çalışmasından elde edilen regresyon katsayısı tahminlerinin toplam MSE değerleri Tablo 1-3'de verilmiştir.

Tablo 1-3'deki değerler incelendiğinde, açıklayıcı değişkenler arasındaki  $\rho$  korelasyon katsayısı değeri büyüdükçe beklenildiği gibi tahmin edicilerin toplam MSE değerlerinin büyüdüğü, aynı şekilde  $\sigma^2$  varyans değeri arttırıldığında tahmin edicilerin toplam MSE değerlerinin arttığı görülmüştür. Simülasyon çalışmasında örneklem hacmi büyüdükçe genel olarak tahmin edicilerin toplam MSE değerleri azalmıştır. Bu sonuçlar simülasyon çalışmasının başarılı olduğu göstermektedir.

Aykırı gözlem ve çoklu bağıntı problemi içeren veri setlerinde klasik kantil regresyon yöntemi ile ridge tahminine dayalı kantil regresyon yöntemi karşılaştırıldığında ridge tahminine dayalı kantil regresyonun daha başarılı olduğu görülmüştür.

Ridge tahminine dayalı kantil regresyonunda yanlılık parametresi  $k$ 'nın tahminlerine göre elde edilen regresyon katsayısı tahminlerinin toplam MSE değerlerine göre grafiksel karşılaştırılması Şekil 1-3'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Seçili parametre değerlerine göre tahmin edicilerin toplam MSE değerleri ( $\tau = 0.25$ )

(Table 1. Total MSE values of the estimators according to selected parameter values ( $\tau = 0.25$ ))

$\sigma$	$\rho^2$	n	Kantil regresyonu	Ridge tahminine dayalı kantil regresyonu							
				$\hat{k}_{HK}$	$\hat{k}_{HKB}$	$\hat{k}_{LW}$	$\hat{k}_{HSL}$	$\hat{k}_{AM}$	$\hat{k}_{GM}$	$\hat{k}_{MED}$	$\hat{k}_{KS}$
0.2	0.95	10	69.203	32.065	15.825	11.35	1.059	1.252	3.374	2.169	32.288
0.2	0.95	30	7.659	1.997	1.616	1.008	0.734	0.634	0.903	0.874	2.284
0.2	0.95	100	6.574	1.650	1.514	1.402	0.706	0.472	0.674	0.665	2.427
0.2	0.99	10	360.09	170.14	84.709	54.17	0.531	1.697	11.389	8.943	168.91
0.2	0.99	30	38.840	9.600	7.371	4.647	0.382	0.968	2.811	2.860	9.983
0.2	0.99	100	33.557	7.578	6.871	5.503	0.377	0.746	2.134	1.785	8.442
0.5	0.95	10	548.23	98.841	36.356	29.79	0.633	0.803	4.041	3.536	99.134
0.5	0.95	30	43.866	5.555	3.366	3.060	0.398	0.430	0.924	0.952	6.164
0.5	0.95	100	40.663	5.035	3.373	3.509	0.386	0.395	0.775	0.776	7.444
0.5	0.99	10	2803.55	536.08	194.38	151.63	0.391	0.577	11.639	18.51	535.57
0.5	0.99	30	249.34	29.997	17.354	15.063	0.228	0.300	2.285	4.017	30.601
0.5	0.99	100	211.48	26.013	16.595	14.825	0.244	0.268	1.958	3.214	28.510

**Tablo 2.** Seçili parametre değerlerine göre tahmin edicilerin toplam MSE değerleri ( $\tau = 0.50$ )

(Table 1. Total MSE values of the estimators according to selected parameter values ( $\tau = 0.50$ ))

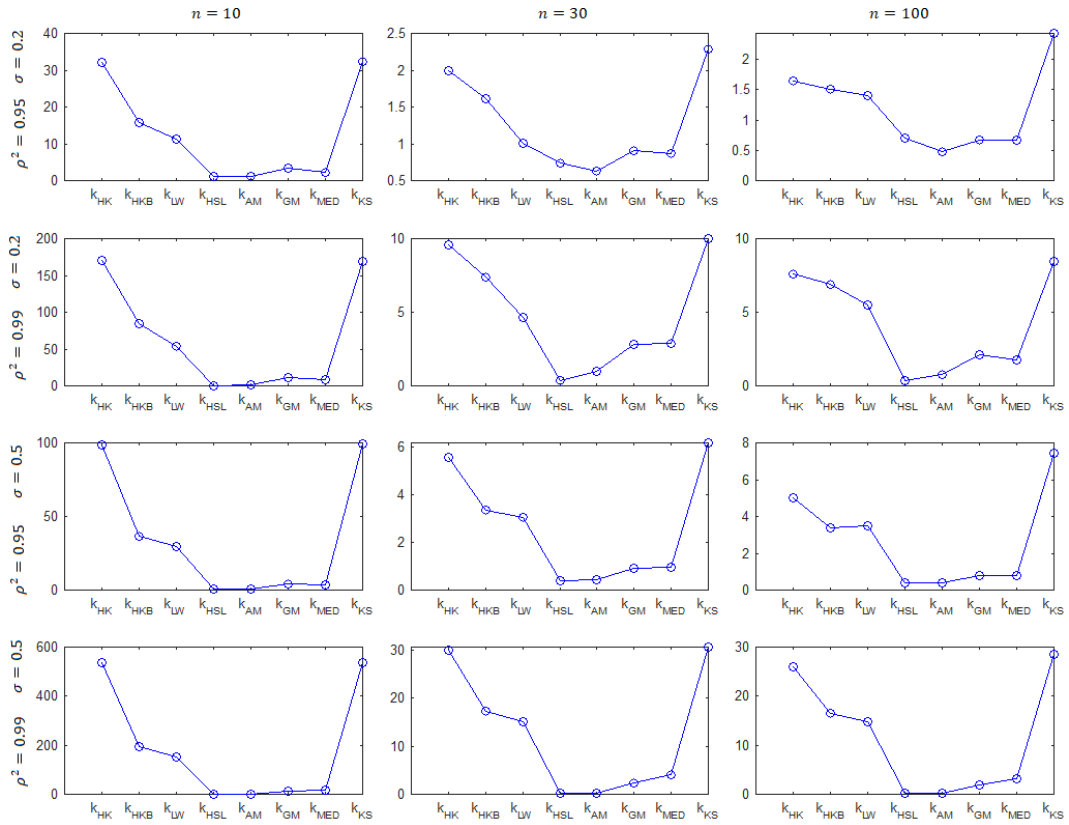
$\sigma$	$\rho^2$	n	Kantil regresyonu	Ridge tahminine dayalı kantil regresyonu							
				$\hat{k}_{HK}$	$\hat{k}_{HKB}$	$\hat{k}_{LW}$	$\hat{k}_{HSL}$	$\hat{k}_{AM}$	$\hat{k}_{GM}$	$\hat{k}_{MED}$	$\hat{k}_{KS}$
0.2	0.95	10	18.787	8.361	6.976	3.647	3.426	1.461	3.318	3.527	8.437
0.2	0.95	30	12.619	5.004	3.348	3.214	0.658	0.591	1.048	0.858	5.235
0.2	0.95	100	7.926	1.725	1.549	1.289	0.641	0.444	0.649	0.628	2.581
0.2	0.99	10	106.74	48.623	38.075	16.519	2.009	2.627	10.717	5.582	48.794
0.2	0.99	30	69.483	25.069	15.622	14.486	0.270	0.712	3.043	2.819	25.090
0.2	0.99	100	38.817	7.421	6.842	6.219	0.304	0.632	1.906	1.652	8.271
0.5	0.95	10	170.66	39.485	22.263	13.811	2.811	1.307	4.543	2.788	39.793
0.5	0.95	30	66.503	12.411	6.489	6.315	0.431	0.412	1.218	1.266	13.055
0.5	0.95	100	49.380	6.056	3.944	3.979	0.348	0.368	0.789	0.786	8.443
0.5	0.99	10	971.28	246.86	121.45	71.103	1.171	1.014	11.069	5.280	246.49
0.5	0.99	30	411.58	74.240	34.472	35.220	0.233	0.258	2.963	5.596	73.629
0.5	0.99	100	249.94	30.741	19.086	19.166	0.240	0.250	1.868	3.209	33.124

**Tablo 3.** Seçili parametre değerlerine göre tahmin edicilerin toplam MSE değerleri ( $\tau = 0.75$ )

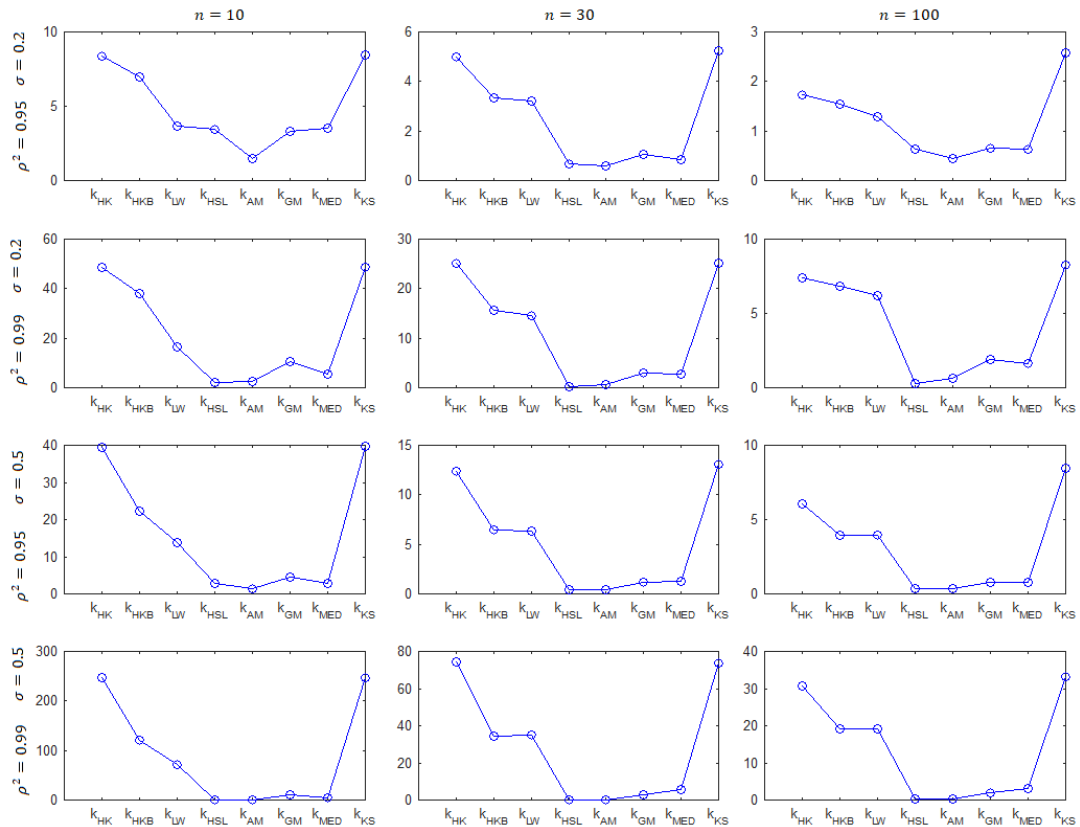
(Table 3. Total MSE values of the estimators according to selected parameter values ( $\tau = 0.75$ ))

$\sigma$	$\rho^2$	n	Kantil regresyonu	Ridge tahminine dayalı kantil regresyonu							
				$\hat{k}_{HK}$	$\hat{k}_{HKB}$	$\hat{k}_{LW}$	$\hat{k}_{HSL}$	$\hat{k}_{AM}$	$\hat{k}_{GM}$	$\hat{k}_{MED}$	$\hat{k}_{KS}$
0.2	0.95	10	33.079	9.761	8.836	2.517	3.187	2.488	4.456	4.115	9.866
0.2	0.95	30	13.065	4.051	2.847	2.797	0.604	0.474	0.826	0.672	4.266
0.2	0.95	100	6.680	1.954	1.546	1.485	0.678	0.484	0.717	0.702	2.737
0.2	0.99	10	178.08	53.774	49.181	13.837	2.588	5.244	16.816	14.392	53.423
0.2	0.99	30	77.039	22.415	15.387	15.036	0.258	0.641	2.662	1.982	22.617
0.2	0.99	100	34.002	9.165	7.299	7.105	0.301	0.686	2.238	2.008	9.970
0.5	0.95	10	280.76	44.962	29.306	11.893	3.696	3.596	8.945	7.701	45.612
0.5	0.95	30	71.010	10.409	6.696	6.713	0.391	0.397	1.051	0.903	11.353
0.5	0.95	100	41.055	5.393	3.404	3.551	0.357	0.377	0.809	0.872	7.933
0.5	0.99	10	1490.7	265.19	169.52	68.173	1.621	3.350	28.096	33.232	262.37
0.5	0.99	30	455.34	68.480	35.191	36.406	0.226	0.264	2.749	3.924	68.383
0.5	0.99	100	212.82	27.476	16.888	17.643	0.265	0.251	1.969	3.709	29.330

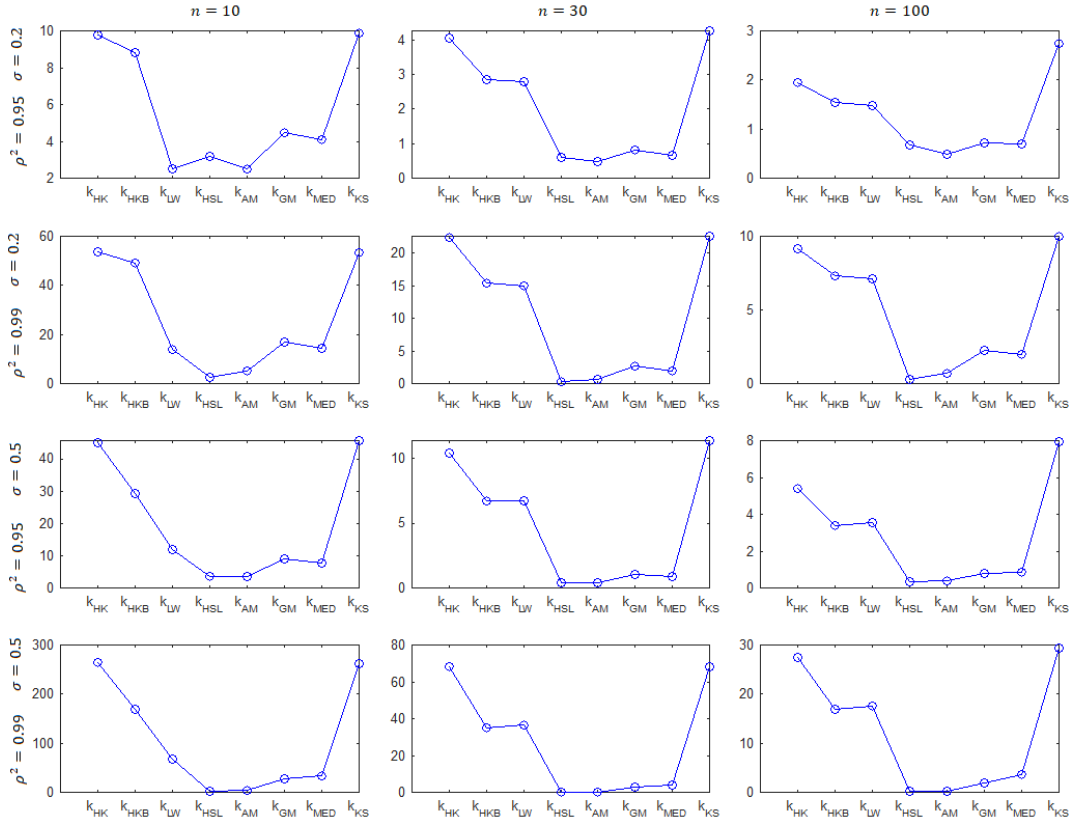




**Şekil 1.**  $\tau = 0.25$  için yanlışlık parametresi tahminlerine göre elde edilen regresyon katsayı tahminlerinin toplam MSE değerlerinin çizgi grafikleri  
 (Figure 1. Line plots of the total MSE values of the regression coefficient estimates obtained according to the bias parameter estimates for  $\tau = 0.25$ )



**Şekil 2.**  $\tau = 0.50$  için yanlışlık parametresi tahminlerine göre elde edilen regresyon katsayı tahminlerinin toplam MSE değerlerinin çizgi grafikleri  
 (Figure 2. Line plots of the total MSE values of the regression coefficient estimates obtained according to the bias parameter estimates for  $\tau = 0.50$ )



**Şekil 3.**  $\tau = 0.75$  için yanlılık parametresi tahminlerine göre elde edilen regresyon katsayı tahminlerinin toplam MSE değerlerinin çizgi grafikleri  
(Figure 3. Line plots of the total MSE values of the regression coefficient estimates obtained according to the bias parameter estimates for  $\tau = 0.75$ )

Ridge tahminine dayalı kantil regresyonunda yanlılık parametresi  $k$ 'nın tahmin edicileri karşılaştırıldığında Hocking, Speed ve Lynn [15] tarafından önerilen  $\hat{k}_{HSL}$  ve Kibria [16] tarafından önerilen  $\hat{k}_{AM}$  tahminlerinin daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Hoerl ve Kennard [2] tarafından önerilen  $\hat{k}_{HK}$  ile Khalaf ve Shukur [17] tarafından önerilen  $\hat{k}_{KS}$  tahminleri diğer yanlılık tahmin edicilerine göre daha yüksek MSE değerine sahip olmuş ve incelenen  $k$  yanlılık tahmin ediciler arasında en kötü performansı göstermiştir.

## 5. UYGULAMA (APPLICATION)

Tobacco verisi çoklu iç ilişki ve aykırı değer problemi taşıyan bir veri setidir [20]. Tobacco verisi bir yanıt değişkeni ve dört açıklayıcı değişken içeren 30 birimden oluşan bir veri setidir. Bu veri setinde kantil regresyonu ile ridge tahminine dayalı kantil regresyonunun performansı tekrarlı  $k$  katmanlı çapraz doğrulama tekniği ile karşılaştırılacaktır. Uygulamada tobacco verisi standartlaştırılmıştır.

Tekrarlı  $k$  katmanlı çapraz doğrulama tekniğinde, veri seti rastgele  $k$  parçaya bölünür ve bölünen her parça sırayla test verisi, geri kalan  $k-1$  parçadan oluşan veri seti de eğitim verisi (training data) olur. Böylece oluşturulan her  $k$  parça test verisi olarak kullanılmış olur. Eğitim verisi ile oluşturulan modelin etkinliği test verisinde ölçülür. Verinin rastgele  $k$  parçaya ayrılmasındaki rastgeleliğin model belirlemedeki etkisini azaltmak için bu işlemler tekrarlanarak tekrarlı  $k$  katmanlı çapraz doğrulama gerçekleştirilmiş olur. Veri seti  $k$  parçaya bölündükten sonra her parçadaki gözlem sayısı  $r$  olmak üzere test verisindeki toplam hata değeri

$$E(k) = \sum_{i=1}^r (y_{i,\text{test}} - \hat{y}_{i,\text{test}})^2 \quad (21)$$

eşitliği ile elde edilir. Eşitlikte yer alan  $\hat{y}_{i,\text{test}}$  değeri  $k-1$  parçadan oluşan eğitim verisi ile elde edilen parametre tahmin değerlerine göre test verisindeki  $i$ . yanıt değişkeninin tahmini değerini göstermektedir. Veri setinin bölünmesi ile oluşan  $k$  parçanın her biri test verisi olarak kullanıldığından  $k$  tane toplam hata değeri hesaplanır. Tekrar sayısı  $t$  olmak üzere çapraz doğruluk hatası

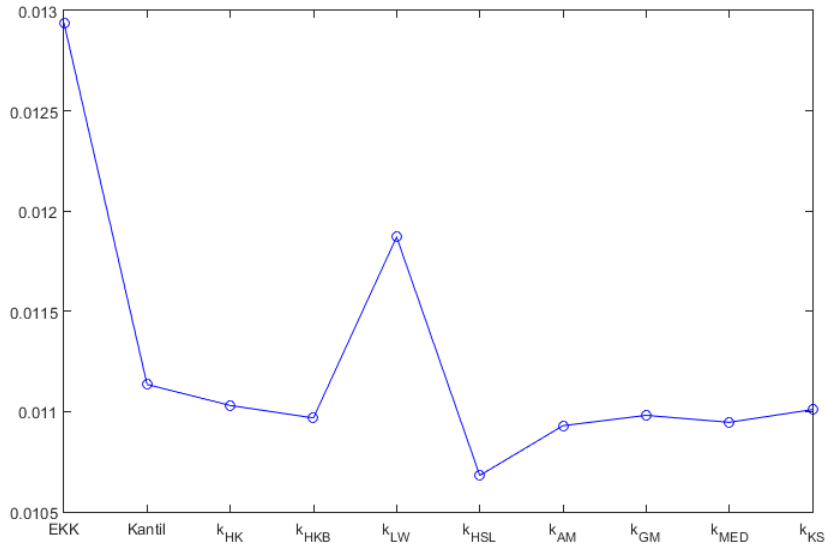
$$CV = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t \frac{1}{k} \sum_{m=1}^k E_i(m) \quad (22)$$

eşitliği ile elde edilir. Elde edilen değerin küçük olması parametre tahmin yönteminin performansının iyi olduğu anlamına gelir.

Uygulamada, tekrarlı k katmanlı çapraz doğrulama tekniğinde k=5 ve tekrar sayısı 1000 alınmıştır. Tobacco verisi için EKK, Kantil ve ele alınan yanlılık parametresi tahminlerine göre ridge tahminine dayalı kantil regresyon analizlerinden elde edilen katsayı tahminleri, çoklu belirlilik katsayısı R<sup>2</sup> ve tekrarlı k katmanlı çapraz doğrulama tekniği ile elde edilen CV değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Tablo 4’de ayrıca elde edilen yanlılık parametresi tahminleri de parantez içerisinde verilmiştir. Tekrarlı k katmanlı çapraz doğrulama tekniği ile elde edilen CV değerlerine ait çizgi grafiği Şekil 4’de verilmiştir.

**Tablo 4.** Farklı tahmin yöntemlerine göre regresyon katsayı tahminleri, R<sup>2</sup> ve CV değerleri  
(Table 4. Regression coefficient estimations according to different estimation methods, R<sup>2</sup> and CV values)

	EKK	Kantil regresyon	Ridge tahminine dayalı kantil regresyonu							
			$\hat{k}_{HK}$ (0.000790)	$\hat{k}_{HKB}$ (0.001677)	$\hat{k}_{LW}$ (0.105750)	$\hat{k}_{HSL}$ (0.006693)	$\hat{k}_{AM}$ (0.003208)	$\hat{k}_{GM}$ (0.002312)	$\hat{k}_{MED}$ (0.002532)	$\hat{k}_{KS}$ (0.000786)
$\hat{\beta}_1$	1.50739	1.50151	1.27887	1.15996	0.34391	0.40921	0.36151	1.10929	0.34930	1.28448
$\hat{\beta}_2$	-0.52107	-0.52475	-0.54479	-0.55466	-0.16386	-0.40675	-0.34839	-0.48318	-0.34573	-0.54454
$\hat{\beta}_3$	-0.84160	-0.88288	-0.73362	-0.67789	0.20556	-0.03318	-0.31753	-0.71234	-0.30900	-0.73434
$\hat{\beta}_4$	0.82171	0.87158	0.96596	1.03944	0.60515	1.01369	1.28394	1.06697	1.28541	0.96081
R <sup>2</sup>	0.95720	0.95717	0.95697	0.95668	0.94799	0.95262	0.95290	0.95641	0.95280	0.95698
CV	0.01294	0.01114	0.01103	0.01097	0.01187	0.01068	0.01093	0.01098	0.01095	0.01101



**Şekil 4.** Tekrarlı k katmanlı çapraz doğrulama ile elde edilen CV değerlerine ait çizgi grafiği  
(Figure 4. Line plots of CV values obtained by repeated k-fold cross validation)

Tablo 4 ve Şekil 4 incelendiğinde Hocking, Speed ve Lynn [15] tarafından önerilen  $\hat{k}_{HSL}$  yanlılık parametre tahminine dayalı kantil regresyon yöntemi ile en küçük CV değeri elde edilmiştir. Simülasyon sonuçları ile uyumlu bir şekilde CV kriterine göre en başarılı iki yanlılık tahmin yöntemi Hocking, Speed ve Lynn [15] tarafından önerilen  $\hat{k}_{HSL}$  ve Kibria [16] tarafından önerilen  $\hat{k}_{AM}$  tahmin edicileridir. Çoklu bağlantı ve aykırı gözlem problemleri içeren veri setinde EKK tahminleri en yüksek CV değeri ile en başarısız tahmin edici olmuştur.

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada çoklu bağlantı problemi ve aykırı gözlem varlığında kantil regresyonunda ridge tahminine dayalı çözüm incelenmiştir. Literatürde yaygın kullanıma sahip sekiz yanlılık tahmin edicisinin performansı tahmin edicilerin toplam MSE kriterine göre değerlendirilmiştir. Simülasyon ve gerçek veri seti ile gerçekleştirilen uygulama sonuçları çoklu bağlantı problemi ve aykırı gözlem varlığında kantil regresyonunda ridge tahmin

yaklaşımının kullanılabilceğini göstermiştir. Simülasyon çalışması sonucunda Hocking, Speed ve Lynn [15] tarafından önerilen  $\hat{k}_{HSL}$  ve Kibria [16] tarafından önerilen  $\hat{k}_{AM}$  yanlılık tahmin edicileri en başarılı tahmin ediciler olarak belirlenmiştir. Tobacco veri setinde tekrarlı k katmanlı çapraz doğrulama tekniği ile gerçekleştirilen karşılaştırma sonucunda en başarılı yanlılık tahmin edicisi  $\hat{k}_{HSL}$  olmuştur.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Doç. Dr. Murat ERİŞOĞLU'nun danışmanlığında Nurullah YAMAN'ın Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalında devam eden "Kantil Regresyonda Yanlı Tahmin Edicilerin Performanslarının İncelenmesi" başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] R. C. Pfaffenberger, T. E. Dielman, A comparison of regression estimators when both multicollinearity and outliers, içinde: K. D. Lawrence, J. L. Arthur (Ed.) Robust Regression: Analysis and applications, Marcer Dekker Inc. New York and Basel, (1990) 243-270.
- [2] A. E. Hoerl, R. W. Kennard, Ridge regression: Biased estimation for non-orthogonal problems. *Technometrics*, 12(1) (1970) 55-67. doi: 10.1080/00401706.1970.10488634
- [3] M. S. Suhail, Chand, B. M. G. Kibria, Quantile based estimation of biasing parameters in ridge regression model, *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, (2019) doi: 10.1080/03610918.2018.1530782
- [4] A. A. Yavuz, E. G. Aşık, Kantil Regresyon, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9(2) (2017) 137-146. doi: 10.29137/umagd.352530
- [5] C. Chen, An introduction to quantile regression and the QUANTREG procedure, *In Proceedings of the Thirtieth Annual SAS Users Group International Conference*, SAS Institute Inc. Cary, NC. 2005, 213-30.
- [6] R. Koenker, G. Basset, Regression Quantiles, *Econometrica* 46 (1)(1978) 33-50. doi: 10.2307/1913643.
- [7] R. Koenker, K. F. Hallock, Quantile Regression, *Journal of Economic Perspectives* 15 (4)(2001) 143-156. doi: 10.1257/jep.15.4.143.
- [8] D. Baur, M. Saisana, N. Schulze, Modelling the effects of meteorological variables on ozone concentration: a quantile regression approach, *Atmospheric Environment*, 38(28) (2004) 4689-4699. doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.05.028
- [9] İ. Altındağ, Quantile regresyon ve bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstatistik Ana Bilim Dalı, Konya, 2010.
- [10] A. S. Bager, Ridge Parameter in Quantile Regression Models: An Application in Biostatistics, *International Journal of Statistics and Applications*, 8(2) (2018) 72-78. doi: 10.5923/j.statistics.20180802.06
- [11] H. Zaikarina, A. Djuraidah, A. H. Wigena, Lasso and Ridge Quantile Regression using Cross Validation to Estimate Extreme Rainfall, *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 12 (3) (2016) 3305-3314.
- [12] Z. Zeebari, Developing ridge estimation method for median regression, *Journal of Applied Statistics*, 39(12) (2012) 2627-2638. doi: 10.1080/02664763.2012.724663
- [13] A. E. Hoerl, R. W. Kennard, K. F. Baldwin, Ridge regression: Some simulations. *Communications in Statistics*, 4(2) (1975) 105-123. doi:10.1080/03610927508827232
- [14] J. F. Lawless, P. Wang, A simulation study of ridge and other regression estimators, *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 5(4)(1976) 307-323. doi: 10.1080/03610927608827353
- [15] R. R. Hocking, F. M. Speed, M. J. Lynn, (1976). A class of biased estimators in linear regression, *Technometrics*, 18(4) (1976) 55-67. doi:10.1080/00401706.1976.10489474
- [16] B.M. G. Kibria, Performance of some new ridge regression estimators, *Communications in Statistics – Simulation and Computation*, 32(2) (2003) 419-435. doi: 10.1081/SAC-120017499
- [17] G. Khalaf, G. Shukur, Choosing ridge parameters for regression problems, *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 34(5) (2005) 1177-1182. doi: 10.1081/STA-200056836
- [18] D. G. Gibbons, A Simulation Study of Some Ridge Estimators, *Journal of the American Statistical Association*, 76 (1981) 131-139. doi: 10.1080/01621459.1981.10477619
- [19] G. C. McDonald, D. I. Galarneau, A Monte Carlo Evaluation of Some Ridge-Type Estimators, *Journal of the American Statistical Association*, 70 (350) (1975) 407-416. doi: 10.1080/01621459.1975.10479882
- [20] R. H. Myers, Classical and modern regression with applications, Second Edition, *Belmont, CA: Duxbury press*, 1990.

## Pasif RFID Etiket Konumunu Belirlemeye Yönelik UHF Anten Tasarımı

Taha Fatih ATEŞ<sup>1</sup> , Hulusi AÇIKGÖZ<sup>2</sup> , Ali Osman ÖZKAN<sup>3\*</sup> 

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği AD, 42140, Meram, Konya, Türkiye

<sup>2</sup> KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 42020, Karatay, Konya, Türkiye

<sup>3</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 42140, Meram, Konya, Türkiye

**ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE**

(Geliş/Received: 09.07.2019; Kabul/Accepted: 11.11.2019; Online baskı/Published online: 09.12.2019)

### ÖZET

Son yıllarda, radyo frekanslı tanımlama (Radio Frequency Identification-RFID) teknolojisinde önemli gelişmeler yaşanmaktadır ve farklı uygulama alanları ön plana çıkmaktadır. RFID, sağlamış olduğu avantajlar sayesinde konum tespit işlemlerinde kullanılabilir. RFID etiketlerin ve okuyucularının önemli bir bileşeni olan antenlerin performansları yeni tasarımlar ile daha da geliştirilebilmektedir. Antenler kullanım yerlerine göre özel tasarlanmalıdır. Bu çalışmada, pasif RFID etiketlerinin konum tespitinde kullanılacak okuyucu anten tasarımı yapılmıştır. Ultra yüksek frekans (UHF) aralığında çalışabilen ve konum belirlemeye uygun performans sergileyen düşük profilli yama anten tasarlanmış ve analizleri yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Radyo frekanslı tanımlama (RFID), Ultra yüksek frekans (UHF), Yama anten, Elektromanyetik

### UHF Antenna Design for Identifying Passive RFID Tag Location

#### ABSTRACT

In recent years, has been significant advances in radio frequency identification (RFID) technology and different application areas have been come to the forefront. RFID can be used for location detection operations thanks to its advantages. The performance of antennas, which is an important component of RFID tags and readers, can be further enhanced with new designs. Antennas should be specially designed to their working location. In this study, reader antenna is designed to determine the location of passive RFID tags. A low-profile patch antenna is designed and analyzed which is suitable for location determination on ultra-high frequency (UHF) range.

**Key Words:** Radio frequency identification (RFID), Ultra high frequency (UHF), Patch antenna, Electromagnetic

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

RFID, üzerinde mikroişlemci ve anten bulunan etiketin taşıdığı bilgilere ulaşan, radyo frekansları ile çalışan ve haberleşen otomatik tanıma sistemidir. Veri ve enerji transferi, etiket ve okuyucu arasında herhangi bir temas olmadan sağlanmaktadır [1]. RFID sisteminde yazılım ve donanım gereksinimleri bulunmaktadır. RFID için gerekli olan donanımlar RFID etiketleri, RFID okuyucuları ve RFID okuyucu antenleridir. Sistemin kullanılacağı amaca ve şartlara göre radyo frekansları farklılık göstermektedir. Yazılım olarak ara yüzler gerekmektedir.

RFID üzerine ilk çalışma Harry Stockman tarafından Ekim 1948'de "Communication By Means of Reflected Power" adıyla yayınlanmıştır. 1930 ve 1940 yıllarındaki radar ve radyo hakkındaki gelişmelerden sonra 1950'li yıllarda RFID çalışmaları hız kazanmıştır [2].

1980'li yıllarda RFID uygulamaları birçok alana yayılmıştır. Avrupa'da hayvan izleme sistemleri çok yaygınlaşmış, aynı zamanda İtalya, Fransa, Portekiz ve Norveç gibi Avrupa ülkelerinde ücret geçişli yollar RFID ile donatılmıştır. Oklahoma'da 1991'de açılan ücretli geçiş sistemi araçlara gişelerden duraklamadan geçiş imkânı tanımıştır [3].

Son zamanlarda konum tespit işlemleri için de kullanılmaya başlanmıştır [4]. RFID cihazları, sanayi ve hastaneler gibi alanlarda, ürünlerin hızlı ve güvenilir bir şekilde takip edilmesine ve kayıt altına alınmasına imkân sağlamaktadır. Teknolojik gelişmeler RFID sistemlerini de etkilemektedir. RFID etiketlerin ve okuyucularının önemli bir bileşeni olan antenlerin performansları yeni malzemeler, yapılar ve tasarımlar ile daha da geliştirilebilmektedir.

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: alozkan@erbakan.edu.tr / Tel: +90 332 325 2024

Kullanım kolaylığı sağlamanın yanı sıra teknolojik gelişmeler sayesinde üretiminin de basitleşmesi sebebiyle RFID hemen her alana dâhil olabilmektedir. Kullanım alanlarına örnek olarak; hayvan takibi, insan sağlığı denetimi, çevre kontrolü, gıda kalitesi ve güvenliği, araç takibi ve güvenliği, konum belirleme ve nesnelerin interneti için kablosuz sensör ağları gibi uygulamalar verilebilir.

RFID sistem bileşenleri arasında en etkili görevi olan yapılardan birisi antenlerdir. RFID antenler, elektromanyetik dalgaları okuyuculardan alarak diğer okuyuculara ya da etiketlere dağıtan ve/veya çevredeki elektromanyetik dalgaları alarak bir okuyucuya iletip kablosuz haberleşme sağlayan bileşenlerdir.

Pui ve arkadaşları (2017), çalışmalarında farklı kullanım alanları ve farklı metotlara uygun anten tasarımı yapılması gerektiğini belirtmiş ve günümüze kadar kullanılmış farklı modellerle karşılaştırmıştır [5].

Hossain ve Karmakar (2006), yayınlarında belirttikleri üzere; antenler, düzlemsel ve dairesel yayın yapabilirler. Düzlemsel yayın yapan anten, olası en uzun okuma mesafesinde, maksimum kazanç için tek bir eksenle yoğunlaşır. Dairesel yayın yapan anten ise üretilen UHF enerjiyi daha uzun mesafelere eşit bir şekilde dağıtır. Böylece dairesel yönlü yayılım ile o çevrede bulunan bütün etiketlerin okunması sağlanır [6].

Uçar ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, RFID uygulamalarında, herhangi bir doğrultuda yerleştirilmiş etiket ile okuyucu arasındaki haberleşmenin güvenilirliğini sağlamak adına dairesel polarizasyona sahip anten kullanımını önermişlerdir [7].

Penttilä ve ark. (2005), endüstride kullanılacak RFID okuyucu antenleri için önemli parametrelerin; ışın genişliği, yönlülük, kazanç, anten şekli ve kullanılan malzeme olduğunu belirtmiştir. Ayrıca metal yansımaları yüzünden oluşacak etkilerin azaltılmasına dikkat çekmiştir [8].

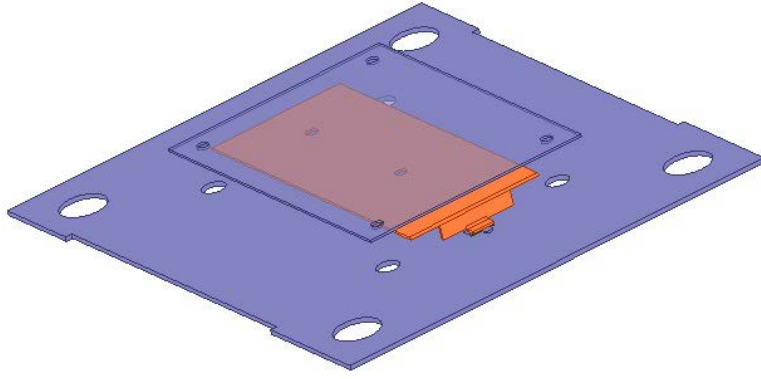
Penttilä ve ark. (2004), RFID okuyucuları, iletişim için bir veya birden fazla anten kullanabilir. Tek bir antenle, okuyucu hem veri iletimi hem de alma için kullanılır. İki'den fazla antene sahip ise, anten sinyalleri arasındaki parazitleri önlemek için, diğer antenleri kapalı tutarken, bir anda bir anteni değiştirmek için okuyucu belirli bir sırayla kullanılmalıdır [9].

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

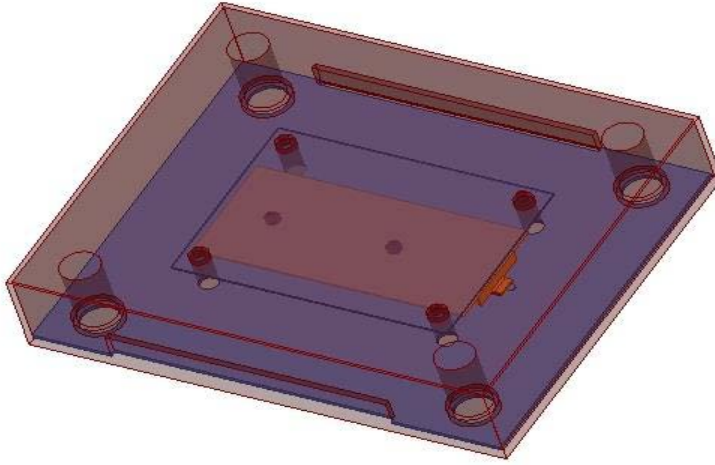
RFID sistemlerinde UHF bandında farklı frekans aralıkları bulunmaktadır. Çalışmamızda ki antenimiz Türkiye'nin içerisinde bulunduğu bölgenin frekansları olan 865-868 MHz aralıkta çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Belirlenen frekans aralığı dahilinde yama anten boyutları hesaplanmıştır. Anten parametreleri için hedef değerler belirlenmiştir. Tasarım amacımızın pasif RFID etiket konumunu bulmaya yardımcı anten olması sebebiyle; düşük kayıplı, geniş açılı ve yüksek kazançlı anten hedeflenmiştir. Kullanım yerinde var olabilecek yakın frekanstaki diğer cihazlardan etkilenmemesi adına bant genişliğinin fazla geniş olmaması düşünülmüştür.

ANSYS HFSS elektromanyetik benzetim aracı kullanılarak; çalışmalar sonucunda belirlenen, 865-868 MHz bandında çalışacak, mikro şerit beslemeli yama anten tasarımına başlanmıştır. Matematiksel modeller ile belirlenen ölçülerde çeşitli antenler tasarlanmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre anten tasarımları geliştirilmiştir. Geliştirme olarak antenlerin fiziksel yapısından ziyade asıl önemli olan teknik yapısı üzerinde durulmuştur. Dönüş kaybı düşürülmeye, kazancı artırılmaya, ışınma şekli olarak gerekli alanı kapsayacak hale getirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmada geliştirilen anten tasarımında toprak düzlemi, yama düzlemi ve parazit etki düzlemlerinde alüminyum malzeme, destek kısımlarında ve kutuda Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) malzeme kullanılmıştır. Toprak düzlemi olarak, genişliği 200 mm, uzunluğu 250 mm ve yüksekliği 2 mm olan alüminyum malzeme tercih edilmiştir. Yalıtkan katman (dielectric substrate) olarak düşük dielektrik (1,0006 F/m) özelliği sebebiyle hava kullanılmıştır. Toprak düzlemi ile yama düzlemi arasında 4,5 mm aralık bulunmaktadır. Tasarım ve analiz sırasında, anten kutusu için kullanılacak malzeme olarak ABS malzemenin, Polilaktik Asit (PLA) malzemedan daha uygun olduğu gözlemlenmiştir. PLA malzeme ile yapılan kutu içerisinde çalışan antenin kayıpları yükselmiş, bu yüzden kutu malzemesi olarak ABS ile tasarıma devam edilmiştir. ABS malzemedan tasarlanan kutu yüksekliği 44 mm'dir. Öncelikle matematiksel modeli çıkarılan anten tasarlandıktan sonra parametreleri hedeflerimizi sağlamıştır ancak antenin kullanılabilir olması için dışına kutu eklenmesi ve elemanları taşıyacak destek noktaları oluşturulması gerekmektedir. Kutusuz tasarım Şekil 1.'de gösterilmiştir. Kutu ve konektör bağlantısı eklenmesi sonrasında sonuçlarda değişiklik görülmüş, bu yüzden tasarımda iyileştirmeler yapılarak boyutları güncellenmiştir. Son anten tasarımı Şekil 2.'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** 866 MHz anten tasarımı kutusuz görünümü  
(Figure 1. Unboxed view of the 866 MHz antenna design)



**Şekil 2.** 866 MHz anten tasarımı genel görünümü  
(Figure 2. General view of the 866 MHz antenna design)

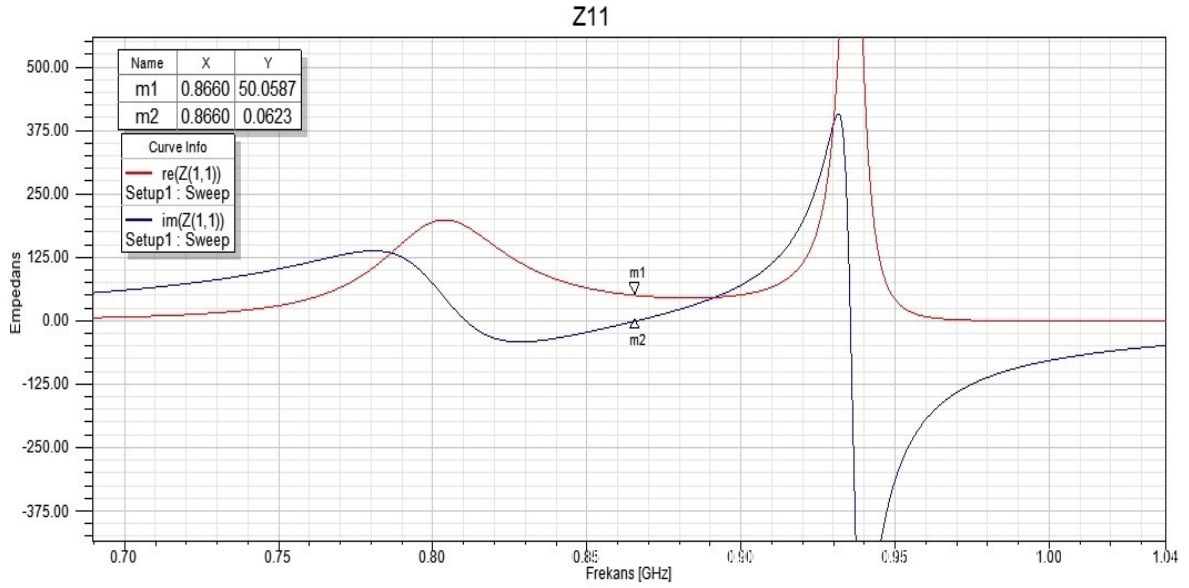
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

#### 3.1. Geri Dönüş Kaybı (Return Loss)

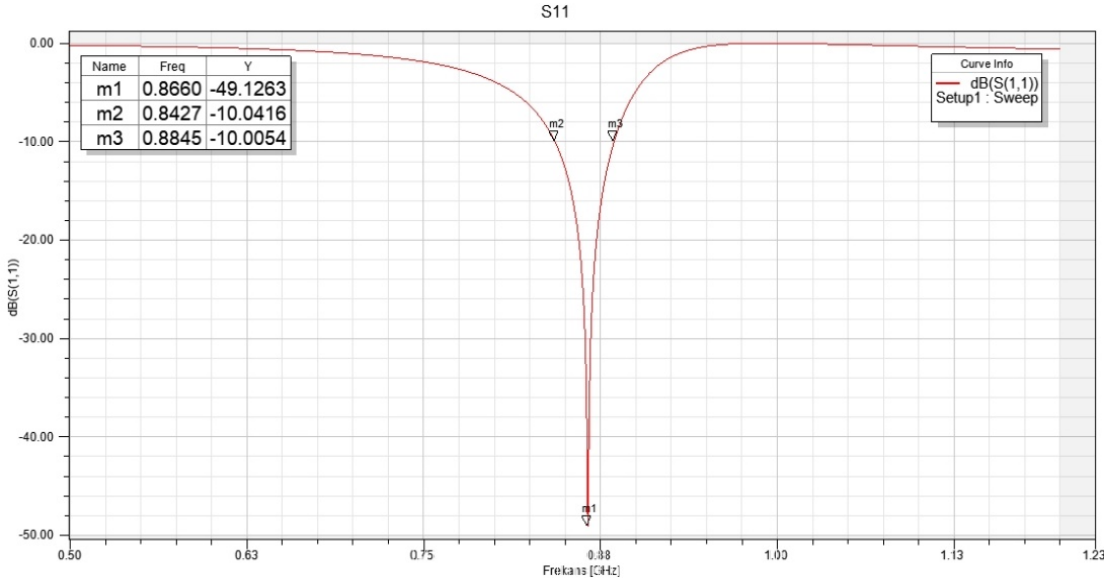
Bir antenin geri dönüş kaybı, antenin sinyal beslemesi olan 50  $\Omega$  iletim hattına ne kadar uyduğunu gösterir. İletim hattı karakteristik empedansı genellikle 50  $\Omega$ 'dur [10]. Geri dönüş kaybı, uyumsuzluk nedeniyle gelen gücün ne kadarının antenden yansıdığını gösterir. Geri dönüş kaybı Eşitlik 1'de verilmiştir. İdeal bir anten, tüm enerjiyi yansımada yayar. Şekil 3.'te  $Z_{11}$  Empedans analiz sonuçları gösterilmiştir. Tasarımımızın giriş empedansı 50,058  $\Omega$  değerindedir. Dolayısıyla empedans uyumluluğu sorunu oluşmamaktadır.

$$\text{Geri Dönüş Kaybı (dB)} = 10 \log \left( \frac{\text{Gelen Güç}}{\text{Yansıyan Güç}} \right) \quad (1)$$

Geri dönüş kaybı sonsuz ise, antenin iletim hattı ile mükemmel şekilde eşleştiği söylenir.  $S_{11}$  desibel cinsinden ifade edilen dönüş kaybının negatif değeridir [11]. Çoğu durumda, geri dönüş kaybı  $\geq 10$  dB (eşdeğer,  $S \leq -10$  dB) yeterli kabul edilir. 10 dB'lik bir geri dönüş kaybı, gelen gücün % 90'ının ışıma için antene gittiğini gösterir. Tasarım öncesi belirlenen hedeflerde antenimizin -15 dB geri dönüş kayıplı olması öngörülmüştür ancak tasarım sonucunda çok daha düşük kayıplı (866 MHz frekansta - 49,126 dB) anten elde edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen geri dönüş kaybı grafiği Şekil 4.'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.**  $Z_{11}$  empedans analiz sonuçları  
(Figure 3.  $Z_{11}$  impedance analysis results)



**Şekil 4.**  $S_{11}$  geri dönüş kaybı analiz sonuçları  
(Figure 4.  $S_{11}$  return loss analysis results)

### 3.2. Bant Genişliği (Bandwidth)

Bant genişliği, bir antenin performans parametrelerinin istenilen değerleri sağladığı frekans aralığı olarak tanımlanabilir. Bant genişliği antenin kullanım amacına göre şekillenebilir. Antenin dar bant olması durumunda çevresindeki yakın frekanslarda çalışan cihazlardan kaynaklanan bozulma etkisini en aza indirir.  $S_{11}$  grafiğinde görüldüğü üzere; antenimiz, geri dönüş kaybı  $\geq 10$  dB kriterini 842,7 MHz ile 884,5 MHz frekansları arasında sağlamaktadır. Bu durum bant genişliğinin yaklaşık olarak 40 MHz olduğunu göstermektedir.

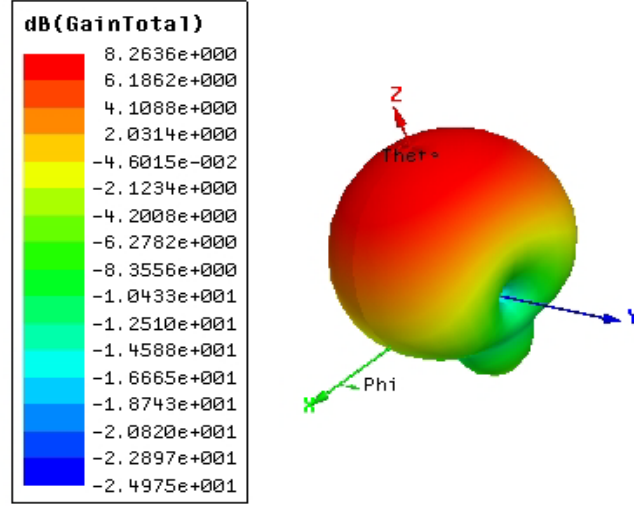
### 3.3. Polarizasyon (Polarization)

Polarizasyon asıl anlamı itibarıyla elektrik alan vektörünün zamana bağlı olarak uzayda çizmiş olduğu şekildir. Lineer, dairesel ve eliptik olmak üzere 3 farklı polarizasyon mevcuttur. Verici ve alıcı anten arasında maksimum veri alışverişi olabilmesi için antenlerin aynı polarizasyonda olması gerekir [12]. Daha başka bir ifade ile alıcı antenin maksimum enerji toplayabilmesi için gelen dalga ile aynı polarizasyonda olması gerekir.

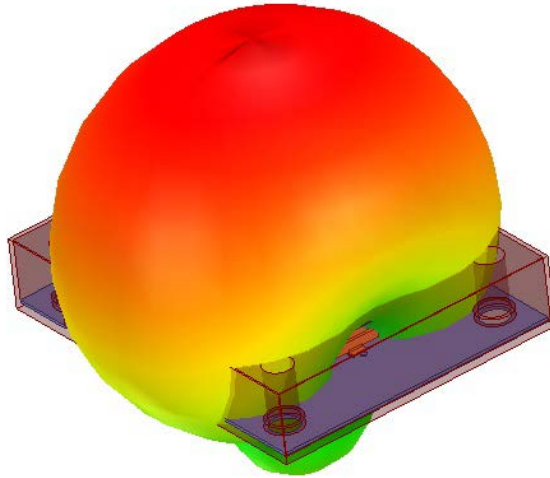


### 3.4. Işıma Örüntüsü (Radiation Pattern)

Anten ışımaya örüntüsü; antenin hangi yönlerde ışımaya yaptığı hakkında bilgi verir. RFID uygulamalarında okuyucu antenin yönlü olması tercih edilir. Bu çalışma kapsamındaki uygulamada takip edilen pasif etiketi algılayacak şekilde yönlü olması gerekmektedir. Işıma örüntüsü ve kazanç değeri Şekil 5.'te, ışımaya örüntüsünün anten üzerindeki gösterimi Şekil 6.'da verilmiştir.



**Şekil 5.** Anten kazanç değeri ve ışımaya örüntüsü analiz sonuçları  
(Figure 5. Antenna gain value and radiation pattern analysis results)



**Şekil 6.** 0,8 ölçekli ışımaya örüntüsünün anten üzerinde gösterimi  
(Figure 6. Display of a 0.8-scale radiation pattern on the antenna)

### 3.5. Kazanç (Gain)

Anten kazancı; belli bir yönde yayılan ışımaya gücünün, izotropik bir antenin her yönde ve eşit seviyede yapmış olduğu toplam ışımaya gücüne oranıyla elde edilir ve Eşitlik 2'de gösterilmiştir. Şekil 5'te görüleceği gibi antenimizin kazanç değeri yaklaşık 8,26 dB olarak hesaplanmıştır.

$$Kazanç = 4\pi \frac{Işıma Şiddeti}{Toplam Giriş Gücü} \quad (2)$$

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Elektromanyetik benzetim programı aracılığıyla tasarlanan antenin analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarında da görüldüğü üzere, tasarım öncesinde belirlenen  $-15$  dB dönüş kaybı değeri tutturulmuş, üstelik 866 MHz frekansta  $-49,126$  dB kayıp ile daha iyi sonuç alınmıştır. Düşük dönüş kaybı sayesinde gelen sinyalin çok düşük bir kısmı geri yansımaktadır ve yüksek kazancı sayesinde verimli çalışmaktadır. Empedans uyumluluğu sayesinde ışınım kaybı olmamaktadır. Geniş açılı yapısı etrafta bulunan etiketleri okuması kolaylaşmaktadır. Antenin fiziksel yapısı düşük profilli anten ölçütünü sağlamaktadır. Pasif RFID etiketlerinin konumlarını belirlemeye yardımcı olması adına; anten kazancı yüksek tutulmuş, dönüş kayıpları en aza indirilmiş ve geniş açı sağlanmıştır. Ayrıca bant genişliği aşırı geniş tutulmayarak etraftan gelecek bozucu etkilerden ve farklı frekansta ki ışınımardan etkilenme olasılığı düşürülmüştür. Sonuç olarak; düşük kayıplı, yüksek kazançlı bir anten elde edilmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, TÜBİTAK/TEYDEB Proje No: 7170741 kapsamında, FFPS Bilgi Teknolojileri Danışmanlık Dış Ticaret ve Eğitim Hizmetleri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi (Konya) ile iş birliği içinde gerçekleştirilmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M.E. Yüksel, A. H. Zaim, Otomatik Nesne Tanımlama Teknolojisi Olarak RFID ve RFID'nin Faydaları, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 2009.
- [2] H. Stockman, Communication by Means of Reflected Power, *Proceedings of the IRE*, 36(10), 1948, 1196-1204. doi:10.1109/jrproc.1948.226245
- [3] S. Bazaatı, 2012. İnşaat Sektöründe Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID), Yüksek lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 2012.
- [4] M. Scherhäufel, M. Pichler, E. Schimbäck, D. J. Müller, A. Ziroff, A. Stelzer, Indoor Localization of Passive UHF RFID Tags Based on Phase-of-Arrival Evaluation, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 61 (2013) 4724-4729. doi:10.1109/tmmt.2013.2287183
- [5] P.Y. Lau, C. Qingxin, W. Yueshan, Review on UHF RFID Antennas, *International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition*, London, 2017: s.53-55. doi: 10.1109/iWEM.2017.7968764
- [6] S.S. Hossain, N. Karmakar, An Overview on RFID Frequency Regulations and Antennas, *2006 International Conference on Electrical and Computer Engineering*, Dhaka, Bangladesh, 2006: s.424-427: doi: 10.1109/ICECE.2006.355661
- [7] M. H. Uçar, A. Sondaş, Y. E. Erdemli, Çevrimiçi RF Veri Toplama Sistemi için UHF RFID Okuyucu Anten Tasarımı, V. URSl-Türkiye Bilimsel Kongresi, Güzelyurt, 2010: s.105-108
- [8] K. Penttilä, M. Keskilampi, L. Sydänheimo, M. Kivikoski, RFID antenna utilisation in industrial applications, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31 (2005) 116-124. doi:10.1007/s00170-005-0174-y.
- [9] K.M. Penttilä, D.W. Engels, and M.A. Kivikoski, Passive radio frequency identification in supply chain management, *International Journal of Robotics and Automation*, 206 (2004) 143-152. doi: 10.2316/Journal.206.2004.3.206-2704.
- [10] R. C. Johnson, Antenna Engineering Handbook, McGraw-Hill, USA, 1993.
- [11] C. A. Balanis, Antenna Theory, Wiley, New Jersey, 2016.
- [12] N. C. Karmakar, Handbook of Smart Antennas for RFID Systems, Wiley, New Jersey, 2010.

## Askılı Kuşlama Makinesinin PLC İle Kontrolü Sayesinde Elde Edilen Kazanımlar

Abdullah AKKAŞ<sup>1\*</sup>, Muciz ÖZCAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tümosan Motor ve Traktör A.Ş., Elektrik Bakım Mühendisi, 42250, Konya, Türkiye

<sup>2</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 42090, Konya, Türkiye

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

(Geliş/Received: 12.04.2019; Kabul/Accepted: 14.11.2019; Online baskı/Published online: 09.12.2019)

### ÖZET

Bu çalışmada, döküm ve dövme işlemleri sonucunda elde edilen traktör parçalarının yüzey temizliğini gerekli olan seviyeye getirmek için kullanılan kuşlama makinesinin kontrol işlemi ve modernizasyonu gerçekleştirilmiştir. Kuşlama makinesinin modernize edilmesi işlemi sonucunda kuşlama makinesinde oluşan arızaların yeri kolayca tespit edilmesi sağlanarak önceden ortalama 35 dakika olan arıza kaynaklı makinanın duruş süreleri 20 dakikaya düşürülerek makinanın arıza kaynaklı duruş süreleri azaltılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kuşlama makinesinin kuşlama zamanları düzenlenerek, gereksiz kuşlama zamanları ortadan kaldırılmıştır. Böylece gereksiz enerji harcamalarına ve malzeme yüzeyinde bozulmalar önlenmeye çalışılmıştır. Bu tez çalışmasında kuşlama makinesinin işletme ve bakım maliyetlerinde azalma sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kuşlama, Türbinli kuşlama makinesi, PLC, Otomasyon

### Gains of Control of Hanger Type Shot Blasting Machine with PLC

### ABSTRACT

Providing the material surface cleaning, reducing the surface roughness to the desirable degree and to increase the surface quality sandblasting procedure is used in industry commonly.

After the modernization of the shot blasting machine, the location of failures in the shot blasting machine can be easily detected and the downtime has been reduced 35 minutes to 20 minutes. As a result of experimental studies the machines sanding times are arranged and the unnecessary sanding times are abolished. By this way material surface deterioration and unnecessary energy cost tried to be prevented. In this thesis sandblaster machines operating and maintenance cost are reduced.

**Key Words:** Sandblasting, Shot Blasting Machine, PLC, Automation

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

#### 1.1. Kuşlama İşlemi (Sand Blasting)

Kuşlama, malzeme yüzeylerindeki yağ, pas, boya, tufal gibi maddeleri yüzeyden arındırmak ve yüzey pürüzlülüğünü gereken seviyeye indirmek, yüzey temas kalitesini artırmak için endüstride yaygın olarak kullanılan bir yüzey işleme yöntemidir. Kuşlama işlemi, yapılmak istenen işe göre seçilmiş olan aşındırıcıların, malzeme işleme yüzeyine belirli bir basınç ve açı ile fırlatılmasıyla gerçekleştirilir [1,2].

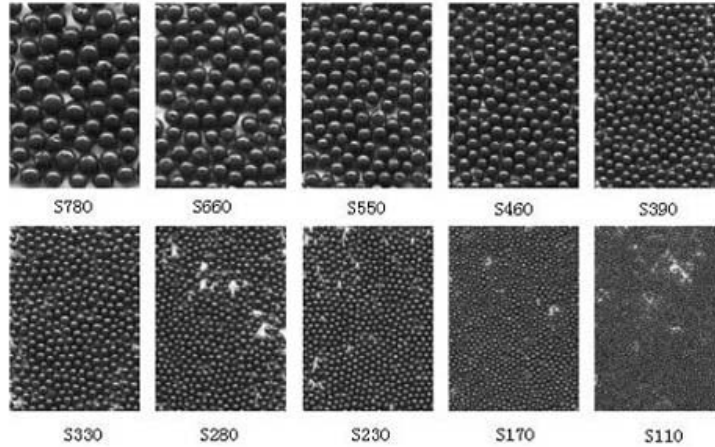
Boyanacak veya kaplanacak iş parçaları önce kuşlama işlemine tabii tutularak yüzey pürüzlülüğü elde edilir. Böylece boya veya kaplama malzemesinin yüzeye daha iyi tutunması sağlanır[3]. Şekil 1.'de yeniden boyanacak bir malzemeye kuşlama işlemi uygulanması görülmektedir. Benzer şekilde birbirine yapıştırılacak malzemeler de yapıştırılmadan önce kuşlama işlemine tabii tutularak malzemelerin bir birine daha iyi yapıştırılmaları sağlanır. Bu işlemi gerçekleştirmek için kuşlama işleminde genellikle ince kum taneleri kullanılır [4,5].



**Şekil 1.** Boyama öncesi kuşlama işlemi  
(Figure 1. Sand blasting operation before painting)

Beton, cam, ahşap gibi yüzeylere dekoratif şekil vermek, tekstil sektöründe kumaş eskitme işlemi, kotların taşlama işlemleri ve gemilerin yüzeylerinin temizlenmesi işleminde de kuşlama işlemi yapılmaktadır[6]. Bunların dışında kuşlama işlemi, metal malzemelerin yüzey gerilimlerinin homojen hale getirilmesi için de kullanılmaktadır. Bu işlem sonucunda daha dayanıklı bir malzeme yüzey yapısı elde edilir. Yapılan bir çalışmada yorulma ömrü 75000 tekrar olan aks millerinin 6 âdeti kuşlama işlemine tabii tutulduktan sonra ortalama ömürlerinin 379013 tekrara çıktığı gözlemlenmiştir[6].

Bu çalışmada döküm işleminden çıkan traktör iş parçalarının döküm tozu, çapak ve yolluk izlerinin temizlenmesi için S330 çelik bilyeler kullanılmaktadır. Döküm iş parçalarının kuşlanması işleminde genellikle iri taneli S330 - S660 arası çelik bilyeler kullanılmaktadır. Şekil 2.'de kuşlama işleminde kullanılan çelik bilyeler verilmiştir.



**Şekil 2.** Çelik bilye boyutları  
(Figure 2. Size of steel ball)

### 1.2. Kuşlama Makineleri (Sand Blasting Machines)

Kuşlama makineleri, aşındırıcıların hızlı bir şekilde iş parçasına doğru fırlatılmasını sağlayan ve fırlatılan aşındırıcıların bir araya toplanmasını sağlayarak yeniden fırlatmaya hazır hale getiren makinelerdir. Kuşlama makinelerini yapıları itibarıyla aşındırıcının fırlatılması ve aşındırıcının taşınmasına bağlı olarak aşağıda belirtildiği şekilde iki grupta toplanabilirler. Bunlar;

i) Aşındırıcı fırlatma yöntemlerine göre;

- Basınçlı hava ile aşındırıcı fırlatan(basınçlı tip) kuşlama makineleri,
- Türbinli aşındırıcı fırlatan (türbinli tip) kuşlama makineleri,

ii) Aşındırıcı malzemenin taşınması yöntemine göre;

- Tamburlu Tip Kuşlama Makineleri,
- Kabin İçi Askılı Kuşlama Makineleri,
- Tünel Tip Kuşlama Makineleridir.

Bu çalışmada kullanılan kumlama makinesi Şekil 3.'de verilen türbinli tip askılı kumlama makinesidir. Kumlama makineleri uygulamada adlandırılırken kullanılan aşındırıcı fırlatma yöntemine göre adlandırılırlar.



**Şekil 3.** Askılı kumlama makinesi  
(Figure 3. Hanger type shot blasting machine)

#### 1.2.1. Türbinli Kumlama Makineleri (Shot Blasting Machine)

Bu çalışmada kullanılan Türbinli Kumlama Makinesinde (TKM), elektrik motoruyla yüksek hızlarda döndürülen bir türbin içine iletilen aşındırıcıların, türbin kanatçıkları yardımıyla iş parçası üzerine fırlatması yöntemiyle kumlama işlemini gerçekleştirilmektedir. Bu tip kumlama makinelerinde işlem, fırlatılan aşındırıcının dış ortamdaki çalışanlara, atölye ortamına zarar vermemesi ve fırlatılan aşındırıcıların tekrar kullanımını sağlamak için özel kumlama kabinleri içinde gerçekleştirilir. Fırlatılan aşındırıcılar kabin içinde birikir. Kabin içinde biriken aşındırıcılar elevatörler yardımıyla separatöre gönderilir. Separatörler, kabin içinde biriktirilen aşındırıcılar ile aşındırıcıların iş parçasından koparmış olduğu döküm tozu ve çapaklardan ayrıştırma işlemini gerçekleştirir. Ayrıştırma işlemi separatörde bulunan bir elek yardımıyla gerçekleştirilir. Separatörden çıkan döküm tozu ve çapaklar aspiratörün çekimiyle filtrelerde biriktirilir [7,8].

#### 1.3. PLC Kontrol (PLC Control)

PLC (Programmable Logic Controller), girişlerinden aldığı bilgileri, yazılan bir programa göre işleyip, çıkışına bağlanan elemanları kontrol edebilen mikroişlemci tabanlı bir endüstriyel cihazdır[9].

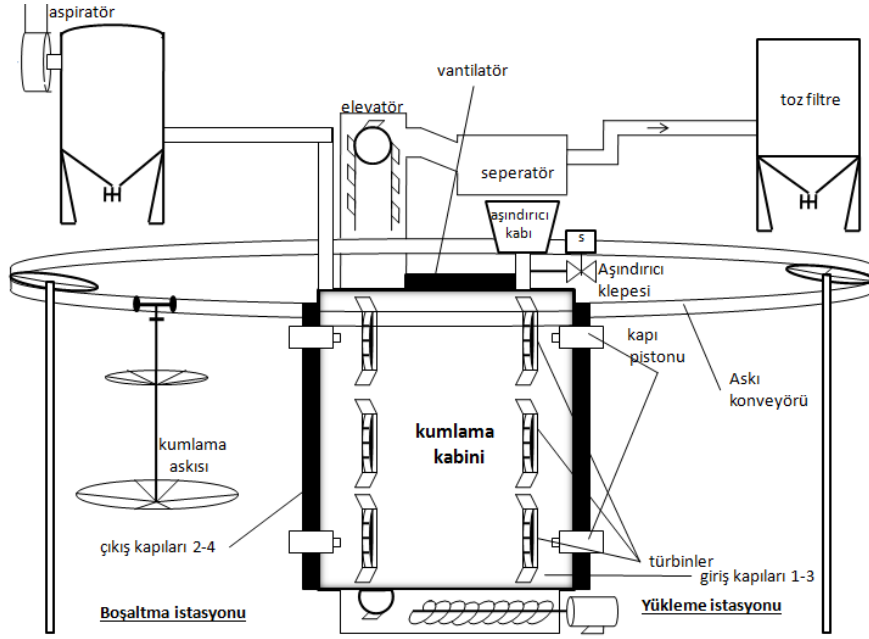
Otomasyon Sistemi, bünyesinde kontrol elemanları bulunduran daha önce insanlar tarafından yapılan fakat günümüzde daha az insan gücüne ihtiyaç duyulan seri üretimde yapılması gereken işlem basamaklarının otomatik olarak yapılmasını sağlayan elamanlardan oluşan bir yapıdır ve genellikle bünyelerinde PLC'leri ve robotları barındırırlar[10,11]

PLC'ler, endüstride birçok alanda makine ve sistemlerin izlenmesi ve kontrolünde kullanılmaktadır. Günümüzde PLC üreticilerinin rekabeti, PLC fiyatlarının daha ekonomik olmasına ve bu durum da röle ile kumanda edilebilecek çok basit yapıların bile PLC ile kontrolünü ekonomik hale getirmektedir [12,13]. Bu çalışmada, röleli olarak kumanda edilen TKM'nin kontrol işleminin PLC ile gerçekleştirilerek modernize edilmeye çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

#### 2.1. Malzeme (Material)

Bu çalışmada kullanılan TKM'nin ana parçaları Şekil 4.'de verilmiştir. Bu makinede, dökümden çıkan iş parçalarının döküm tozlarının ve çapaklarının temizlenmesi işlemi için aşındırıcı olarak S330 çelik bilye kullanılmaktadır. TKM'de toplam 6 adet kumlama askısı bulunmaktadır. Bu askılar, kumlama makinesi çalışırken iş parçalarının kabin içerisine alınması ve çıkarılmasında kullanılarak, kumlama işleminin seri şekilde yapılmasını sağlarlar. Askıların makine içerisinde dolaştırılması ise bir konveyör ile sağlanır.



**Şekil 4.** Askılı kumlama makinesinin yapısı  
(Figure 4. Structure of hanger type shot blasting machine)

Kumlama kabiniinde, iki giriş iki de çıkış kapısı olmak üzere toplamda dört adet kapı bulunmaktadır. İş parçalarını kumlama makinesine alınırken bütün kapılar açık pozisyonundadır. Bu esnada TKM içerisinde kumlanan iş parçaları dışarı, kumlanacak iş parçaları ise içeriye transfer edilir. Kumlama işlemi esnasında kabin kapılarının tamamı kapalı tutularak türbinden fırlatılan aşındırıcıların oluşturacağı tozun ve kumlamada kullanılan çelik bilyelerin kabin dışına çıkması önlenir. Bu sayede sistemde oluşan tozun ve fırlatılan bilyelerin ortamda çalışan kişilere ve orada bulunan cihazlara vereceği zararlar önlenmiş olur. Kabin içinde oluşan toz aspiratör ve fan motoru yardımıyla bir filtreden geçirilerek ortamdan uzaklaştırılır. Filtreler yeterince dolduğunda temizlenmesi gerekir. Zamanında temizlenmeyen filtreler sistemde hava geçişinin azalmasına ve aspiratör motorunun daha fazla akım çekmesine sebep olur. Elektrik motorunun çekmiş olduğu bu akım sistemde daha çok enerjinin tüketilmesine neden olacaktır. Aynı zamanda sistem içinde azalan hava geçişi kabin içindeki tozun yeteri kadar temizlenmemesine, seperatörün görevini tam olarak yerine getirememesine ve kabin kapakları açıldığında ortama toz yayılmasına neden olacaktır[13].

Kumlama işlemi, kumlama kabini yan duvarı üzerinde bulunan 6 adet elektrik motoru ile çalıştırılan kumlama türbinleri yardımıyla gerçekleştirilir. Türbin motorları, 3000 devir ve 22 kW gücündedir. Türbin motorlarının güçleri yüksek olduğu için kalkınma anında şebekeden yüksek akım çekerler. Motorların kalkınma akımlarının şebekeye olan etkilerini azaltmak için motorlar yüksüz olarak teker teker yıldız üçgen yol verme yöntemiyle çalıştırılmaktadır. Sistem modernizasyonu aşamasında bu işlem yumuşak yol vericiler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Tüm motorlar tam devirlerini aldıktan sonra türbinlere aşındırıcı akışını sağlayan klepeler açılarak aşındırıcı malzemelerin türbinlere giriş sağlanır ve böylece kumlama işlemi başlatılmış olur.

## 2.2. Metot (Methods)

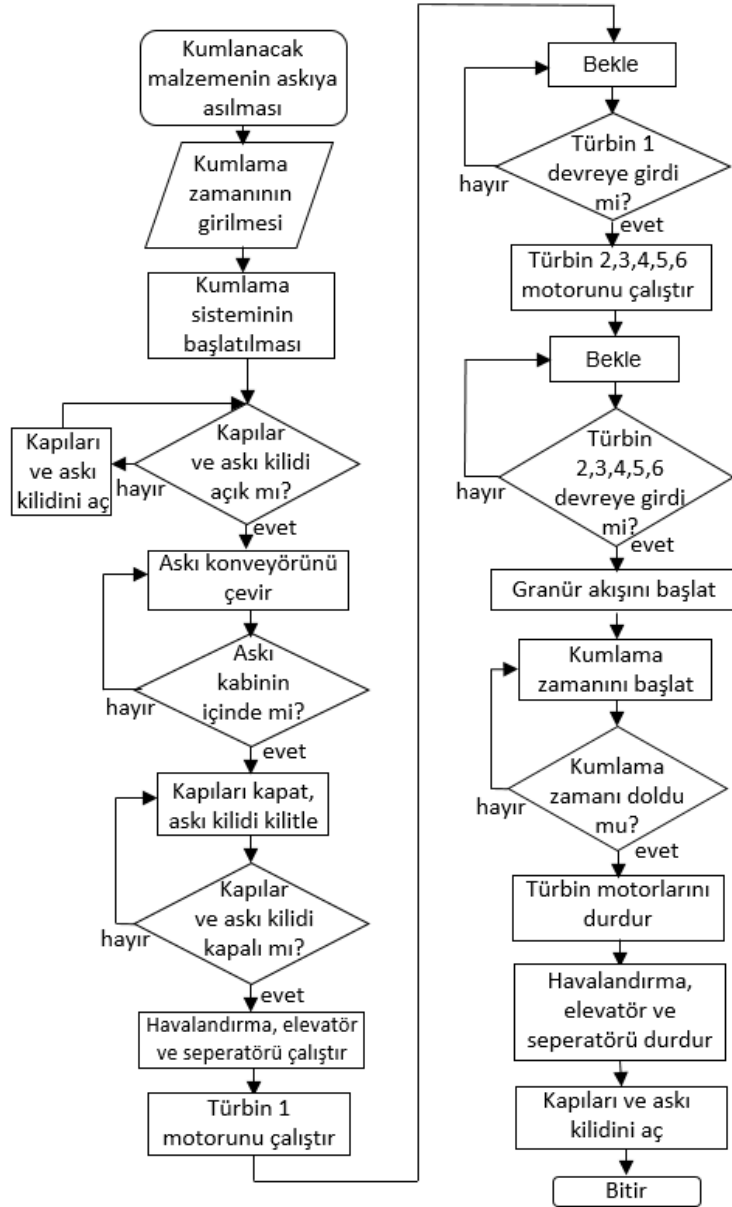
Traktörün üretiminde kullanılan arka kapak, ön dingil mesnedi, ön çanta ağırlık, redüktör kovani, dişli Kutusu, jant ağırlıkları dökümhanede dökülerek elde edilmektedir. Dökümhaneden gelen bu iş parçaları önceki durumda 600 saniye süren kumlama işlemine tabi tutulmaktadır. Bu durum bazı ürünlerin gereğinden fazla kumlanarak fazla enerji sarfiyatı, zaman kaybı ve fazla işçilik maliyetine neden olmaktadır. Bu çalışmada ilk önce kumlama zamanlarının kısaltılması çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada her bir iş parçası için gereken kumlama işlemi deneysel olarak bulunmaya çalışılmıştır. Önce her bir grup iş parçası 450 saniye kumlama işlemine tabii tutulmuştur. Daha sonra numuneler incelenerek gereken seviyede kumlama işleminin yapılıp yapılmadığı tespit edilmiştir. İstenen düzeye ulaşıncaya kadar kumlama zamanı kademeli olarak artırılarak her ürün için gereken kumlama süresi tespit edilmeye çalışılmıştır. Kumlamaya maruz bırakılacak her bir ürün çeşidi için yaklaşık olarak elde edilen işlem süreleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** İş parçaları için belirlenen kumlama süreleri  
(Table 1. Sandblasting times for workpieces)

Ürün cinsi	Önceki kumlama süresi(s)	Deneysel olarak belirlenen kumlama zamanı (s)	Kazanılan Süre (s)
Arka kapak	600	480	120
Ön dingil mesnedi	600	510	90
Ön çanta ağırlık	600	540	60
Redüktör kovani	600	550	50
Dişli kutusu	600	570	30
Jant ağırlığı	600	515	85

Kumlama işleminde türbinlerden fırlatılan aşındırıcılar kumlanan ürün yüzeyine çarparak daha sonra kumlama kabini duvarından sekerek yere düşerler. Aşındırıcıların maruz kaldığı bu olay zamanla aşındırıcıların kırılıp parçalanmasına sebep olur. Kırılan bu aşındırıcı parçaları zaman içerisinde kumlama türbin kanatlarında aşınmalara neden olarak türbin kanatlarına zarar vererek ömürlerinin azalmasına neden olurlar. Belirtilen bu olaylardan fazla kumlama işlemi aşındırıcı sarfiyatının artmasına ve dolayısıyla türbin kanatlarının değişim periyotlarının da kısalmasına neden olur.

Röleli tip kumanda edilen TKM'nin kumanda panosunda sık sık oluşan röle kontağı yapışması, röle bobininin yanması ve röle kontağı geçirgenliği azalması vb. gibi sebeplerden kaynaklanan arızalarda arıza yerlerinin tespit edilmesi ve arızanın giderilmesi işlemi zaman almaktadır. Sistemde oluşan bu ve buna benzer arızaların yerinin önceden tespit edilememesi arıza kaynaklı üretim duruşlarına neden olmaktadır. Burada belirtilen olumsuzlukları azaltılması için TKM'nin kontrol işlemi yeniden PLC ve Dijital Operatör Paneli (DOP) ile gerçekleştirilmiştir. TKM'nin çalışma şartları göz önünde tutularak hazırlanan iş akış şeması Şekil 5'de verilmiştir. İş akış şemasında, yükleme istasyonunda bulunan kumlanacak malzemeler çalışan personel tarafından vinç yardımıyla boş askılara yüklenir. Operatör panelinden kumlanacak ürün tipi seçilir. Operatör panelinin içindeki yazılım, seçilen ürün için tanımlanan kumlama zamanını PLC'ye aktarır. Kumlama işlemi pano üzerinde bulunan başlatma butonuna basılarak başlatılır. Yüklenen askının kumlama kabini içine alınması için konveyör hareket ettirilir. Konveyör hareket ettirilmeden önce askıların kabin kapılarına çarpmaması için kapıların önceden tam açık pozisyonda ve askı kilidinin açık olması sağlanır. Kapıların ve hava kilidinin hareketi, hava ile çalışan (pnömatik) silindirlerin PLC ile kontrol edilmesi sonucunda gerçekleştirilir. Bu şartlar sağlandıktan sonra askılar kabin içine girinceye kadar askı konveyörünü hareket ettiren motor çalıştırılır. Askıda bulunan iş parçaları kabinin içine girince, kabin içinde bulunan pnömatik askı kilidi kapatılır. Daha sonra sistemde bulunan havalandırma, elevatör, seperatör motorları çalıştırılır ve türbin motorları da sırayla devreye alındıktan sonra aşındırıcı akışı başlatılarak kumlama işlemi başlatılır. Kumlama işlemi ile birlikte PLC tarafından kumlama zaman sayacı da başlatılır ve gereken kumlama süresi geçince sırası ile ilk önce türbin motorları daha sonra havalandırma, elevatör, seperatör motorları durdurulur. Kapılar ve askı kilidi açılarak kumlama işlemini bitirir.



**Şekil 5.** Kumlama makinesi kontrolü iş akış şeması  
(Figure 5. Work flow chart of balsting machines control)

İş akış şemasına göre TKM’si için kullanılması gereken giriş kumanda elemanları Tablo 2.’de, kontrol edilecek kumanda elemanları ise Tablo 3.’de verilmiştir. TKM’si için 15 adet dijital giriş ve 21 adet dijital çıkış olan bir PLC seçilmiştir.

**Tablo 2.** Giriş kumanda elemanları  
(Table 2. Input control elements)

Algılayıcının Adı	Algılayıcı tipi	Algılayıcı sayısı
Kapı konum algılayıcı	Sınır anahtarı	8 Adet
Konveyör yerinde algılayıcı	Sınır anahtarı	1 Adet
Askı kilidi algılayıcı	Sınır anahtarı	1 Adet
Konveyör gergide algılayıcı	Sınır anahtarı	1 Adet
Start, Stop butonları	Buton	2 Adet
Acil stop butonu	Buton	1 Adet
Türbinler hazır algılayıcı	Kontak çıkışı	1 Adet



**Tablo 3. Çıkış kumanda elemanları**  
(Table 3. Output Control elements)

Kontrol Elemanı Adı	Kontrol Elemanı Tipi	Kontrol Elemanı	Sayısı
Kabin kapıları	Pnömatik silindir	5/2 Bobin uyarımlı pnömatik valf	4 Adet
Aşındırıcı klepesi	Pnömatik silindir	5/2 Bobin uyarımlı pnömatik valf	1 Adet
Askı konveyör	Asenkron motor	İleri-Geri için 2 Kontaktör	2 Adet
Askı kilidi	Pnömatik silindir	5/2 Bobin uyarımlı pnömatik valf	1 Adet
Askı döndürme	Asenkron motor	Kontaktör	1 Adet
Elevatör, Seperatör, Alt helezon, Aspiratör	Asenkron motor	Kontaktör	4 Adet
Filtre	Pnömatik silindir	5/2 Bobin Uyarımlı pnömatik Valf	1 Adet
Türbinler	Asenkron motor	Yumuşak yol verici	6 Adet

PLC olarak Schneider firmasının Modicon M238 modeli ve DOP olarak Magelis marka panel kullanılmıştır. Modicon PLC'lerin editör programları ücretsiz olarak Schneider'in web sitesinden internet üzerinden indirilebilmektedir. Modicon M238'de 14 sayısal adet giriş, 10 adet sayısal çıkışı bulunmaktadır. TKM'nin kumandasını gerçekleştirmek için gerekli olan giriş ve çıkış sayılarını sağlamak için ana modüle TM2DDI8DT giriş modülü ve TM2DDO16TK çıkış modülü bağlanmıştır. Ana modüle bağlanan TM2DDI8DT giriş modülünde 8 adet sayısal giriş vardır. Bu sayede PLC'de toplamda 22 adet sayısal giriş elde edilmiştir. TM2DDO16TK çıkış modülünde ise 16 adet transistörlü çıkış vardır. Bu sayede de PLC üzerinde toplamda 26 adet sayısal çıkış elde edilmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

TKM'de yapılan modernizasyon çalışmaları sonucunda elde edilen kazanımlar aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

- İş parçalarının kumlama süreleri yeniden belirlenmiştir. Böylece kumlama işlem şekli ve zamanları yeniden belirlenerek TKM'nin daha ekonomik çalıştırılması ve ürün başına düşen kumlama maliyeti düşürülmüştür.
- Kumlama sürelerinin yeniden belirlenmesiyle orantılı olarak genelde ürün başına harcanan aşındırıcı miktarının da azaltılması sağlanmıştır.
- TKM'nin kontrol işleminde PLC ve DOP'i kullanılarak sistemde oluşan arızanın nedeni ve yerinin tespiti kolaylaşmıştır. Buna bağlı olarak sonuçta TKM'nin arıza kaynaklı oluşan duruş süreleri azalmıştır.

Aspiratör filtrelerinin dolması durumu sistemde çalışan motorların akımı izlenerek önceden tespit edilmiş ve filtrelerin otomatik temizlenmesi için fitre çırpma donanımının zamanında çalıştırılması sağlanarak motorların gereksiz yere daha fazla enerji harcamaları önlenmiştir.

#### 3.1. Kumlama Zamanı ve Kumlama Maliyeti (Blasting Period and Blasting Cost)

Bu çalışmanın amaçlarından birisi iş parçaları için gerekli olan kumlama zamanlarının yeniden belirlenmesidir. Tablo 3'de belirtildiği gibi iş parçaları için yeni belirlenen süreler önceki sürelerden daha azdır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, Arka Kapak ürünü için kumlama zamanı 600 s'den 480 s'ye düşürülmüştür. Bu durumda elde edilen zamansal kazanç oranı % olarak Formül 1'den hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} \% \text{ zamansal kazanç} &= \frac{\text{kazanılan zaman}}{\text{kumlama zamanı}} \times 100 & (1) \\ &= \frac{120}{600} \times 100 = 20 \end{aligned}$$

Hesaplama sonucunda zamansal kazanç % 20 olarak bulunur. Arka kapak ürününde elde edilen bu zamansal kazanç aynı oranda ürün başına işletme maliyetlerinde azalmalar sağlayacaktır.

Arka Kapak ürününde elde edilen bu zamansal kazanç, iş parçası başına makinenin daha az çalışmasını sağlamıştır.

Bu durum fazla enerji harcanmasının önüne geçilerek enerji tasarrufu sağlamıştır. Tahmin edilen elektrik enerjisi tasarrufu ise formül 1'den hesaplanabilir. Bir personelin aylık çalışma saati 4857 sayılı iş kanunu'nun 63.

Maddesine göre aylık 225 saattir. Kumlama makinesinin kurulu gücü ise 142kW dır;

$$\begin{aligned} \text{Elektrik tasarrufu} &= \text{zamansal kazanç} \times \text{çalışma saati} \times \text{makine kurulu güç (kWh/ay)} & (2) \\ &= 0,2 \times 225 \times 14 \\ &= 6390 \text{ kWh/ay} \end{aligned}$$

Elektrik enerji kazancının da yaklaşık 6390 (kWh/ay) olması beklenmektedir[15]. Bu hesaplamalar diğer iş parçaları olan Ön Dingil Mesnedi, Ön Çanta Ağırılık, Redüktör Kovanı, Dişli Kutusu, Jant Ağırılığı ürünlerinde de aynı şekilde hesaplanarak Tablo 4.'deki veriler elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda birim iş parçası üzerine harcanan elektrik enerjisi maliyetlerinin düşmesini sağlamıştır.

**Tablo 4.** Zamansal kazanç ve verim tablosu  
(Table 4. Temporal gain and efficiency table)

Kumlanacak Ürün Cinsi	Sağlanan Kazanç Oranı(%)	Aylık Kazanılan Elektrik Enerjisi(kWh)
Arka kapak	20	6390
Ön dingil mesnedi	15	4792,5
Ön çanta ağırılık	10	3195
Redüktör kovanı	8.3	2662,5
Dişli Kutusu	5	1597,5
Jant ağırılığı	14.2	4526,25

**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de görüldüğü gibi % 20 oranla en büyük tasarruf arka kapakta en düşük tasarruf ise % 5 oranla dişli kutusu ürününde sağlanmıştır, **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..** hazırlanırken aylık çalışma periyodunda bir tip malzeme üretilmesi durumunda elde edilen kazançlar gösterilmiştir[15].

### 3.2. Harcanan Aşındırıcı Miktarı (Spended Abrasive Amount)

Kumlamada için kullanılan aşındırıcılar zamanla iş parçası yüzeyine mekanik çarpmanın etkisiyle kırılarak ufalanması, TKM'nin mekanizmasında aşınmalara neden olmaktadır. Kırılmış aşındırıcıların sistemde dolaşması ise iş parçasının yüzeylerinde aşırı deformasyonlara neden olmaktadır. Kumlama zamanlarında yapılan düzenlemelerle iş parçalarının gereksiz yere fazla kumlamasının önüne geçilmiştir. Böylece birim ürün başına harcanan aşındırıcı miktarı, yaklaşık olarak kumlama süresiyle aynı oranda azaldığı gözlenmiştir. Aylık bazda makineye ilave edilen aşındırıcı miktarı değişmezken, kumlama işlemine tabii tutulan iş parçası sayısı artmıştır[15].

### 3.3. Arızaya Müdahale Etme ve Arıza Çözme Zamanı (Inferiting and Solving Breakdown Period)

TKM'sinin mevcut kumanda panosu yerine PLC ve DOP'li kumanda panosu montaj edilmiştir.

Kumanda panosu değiştirilmeden önce panoda bulunan elemanlarının eskimiş olması nedeniyle çok sık arızalar yaşanmaktadır. Arıza tespitinin ilk aşamasında TKM'nin hangi işlemde ve konumda kaldığı tespit edilerek arızanın neden kaynaklandığı tahmin edilmeye çalışılır. Sonra sistemin çalışmasını engelleyecek kontrol elemanları sırası ile test edilerek arızanın hangi kontrol elemanından veya neden kaynaklandığı bulunmaya çalışılmaktadır. Sistemde oluşan arızanın röle kontağının yapışması veya kontağın geçirmemesi sonucunda oluşması durumunda ise arızanın bulunması oldukça zor olmakta ve çok süre almaktadır. TKM'nin çalışması ve arızaların bulunması işlemi PLC ve sistemde kullanılan DOP'i sayesinde oldukça kolaylaşmıştır. Arıza anında ya DOP'i kayıtlarına bakılarak yada bilgisayar yardımıyla PLC'ye online bağlanarak arızaya neden olan sebebe ulaşmak çok daha kolay ve hızlı bir şekilde olmaktadır. Ayrıca gerçekleştirilen PLC kontrolü panoda artık yardımcı kumanda röleleri olmadığı için kontak yapışması veya kontak geçirmemesi gibi arızalara olanak vermemiştir. Türbin motorlarına yıldız-üçgen yol verme sistemi yerine yumuşak yol vericiler ile yol verilmesi sağlanmıştır. Bu sayede kontaktörlerin kontaklarının yapışması sonucunda ortaya çıkan elektriksel arızaların önüne geçilmiştir. Makinenin üretim rapor kayıtlarına göre elektriksel arızalarının çözülme süresi arıza başına ortalama 35 dakika iken yeni kurulan PLC panosu ile bu zaman arıza başına ortalama 20 dakikaya (bu sürenin zaman içinde daha da düşeceği tahmin edilmektedir) düşmüştür( Bu veriler ilk iki ay için alınan raporlara aittir. Bu sürelerin zamanla düşeceği tahmin edilmektedir. [15]

Ayrıca makinenin önceden elektrik ve mekanik tabanlı arızalarının ortalama sayısı aylık 22 (oluşan arızalar elektriksel ağırlıklı) iken 17'ye (oluşan arızalar mekaniksel ağırlıklı) düşmüştür. TKM'sinin arıza kaynaklı duruş süresi aylık ortalama 770 dakikadan 340 dakikaya düşmüştür[15].

### 3.4. Aspiratör filtrelerinin temizlenmesi (Cleaning the aspirator filters)

Aspiratör sisteminde bulunan toz filtrelerinin zamanında temizlenmemesi seperatörün görevini yerine getirememesine neden olmakta ve sonuçta türbin kanatçıklarının daha erken sürede aşınmasına neden olmaktadır.

Yapılan çalışmalarla seperatör filtresinin dolması durumunun önceden tespit edilip gereken zamanda kendisini otomatik temizlemesi seperatörün görevini daha iyi bir şekilde yerine getirmesi sağlanmış ve türbinlere toz parçalarının gitmesi engellenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda sistemde kullanılan türbin kanatlarının ömrünün

artmasını ve değişim süresinin uzaması sağlanmıştır. Türbin kanatçıklarının değişim periyodu ortalama 21 günden 27 güne çıkmıştır[15].

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada Konya Tümosan Döküm A.Ş. de kullanılan TKM'nin elektromekanik röleli kumanda panosu, PLC ve DOP'i hale getirilmiştir. Makinenin çalışması incelenerek makinenin çalışmasında verimi ve maliyeti artırıcı bazı değişiklikler yapılmıştır.

1. Türbin motorlarındaki elektromekanik yolvericilerin yerine yumuşak yolvericiler bağlanmıştır. Bu sayede kontaktör arızalarının ve motor yanmalarının önüne geçilmiştir.
2. Aspiratör filtresinin çırpılma işlemi, personelden alınarak otomatik pnömatik filtre çırpıcı sistem ile değiştirilmiştir. Böylece personelin filtre içine girmesi engellenerek işçi sağlığı korunmuştur. Ayrıca filtrelerin otomatik çırpılmasıyla aspiratör motorunun fazla akım çekmesi engellenerek enerji tasarrufuna katkı sağlanmıştır.
3. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kumlama zamanları yeniden düzenlenmiştir. Kumlama süresinde elde edilen maksimum kazanç askı başına 120 saniye ile arka kapak ürününde, minimum kazanç ise askı başına 30 saniye ile dişli kutusunda elde edilmiştir. Bu zamansal kazançlar sayesinde fazla kumlama işlemleri sonlandırılarak elektrik enerjisi tüketiminde, iş parçası başına düşen işçilik ve bakım maliyetlerinde tasarruflar sağlanmıştır. Tüketilen elektrik enerjisinden arka kapak ürünü için bir ayda yaklaşık 6390 kWh, dişli kutusu ürünü için 1597,5 kWh tasarruf elde edilmiştir[15].
4. Kumlama makinesinin otomasyon işleminde kullanılan PLC yazılımı ile arıza sayısında azalma ve ortalama arıza duruş sürelerinde bir takım kazanımlar elde edilmiştir. Makinenin üretim kayıtlarına göre, sistemin aylık arıza için duruş süresinin 770 dakikadan 340 dakikaya düşürülmüştür[15]. Böylece sistemin oluşan arızalar sonucunda duruş süreleri azaltılmıştır.

Bu çalışma kumlamada tek tip aşındırıcı kullanılmıştır. Gelecekte yapılacak bir çalışmada, kumlamada kullanılan aşındırıcı malzeme çapı ve tipi değiştirilerek kumlama süresinin daha da azaltılabileceğinin araştırılması yapılabilir. Bu çalışmadaki TKM seri imalatta kullanıldığı için bu denemeler gerçekleştirilememiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Uzun, H. Gökkaya, M. R. Metlioğlu, Experimental study of the effect of processing parameters on surface roughness during blasting process of St37 steel plates in turbine sandblasting stand, *Karaelmas Science and Engineering Journal*. 4 (1) (2014), 58-62. doi: 10.7212%2Fzkufbd.v4i1.140
- [2] Z. Yücel, Lazer ve kumlama yöntemleri ile Ti6Al4V alaşımında fonksiyonel yüzeylerin oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kocaeli, 2008
- [3] P. S. Kulkarni, A. K. Sonawane, A. G. Khan, Anti-corrosive surface treatment by using abrasive material, *International Conference on Emerging Trends and Research in Engineering*, 2015
- [4] H. Saraç, Metal ve kompozit parçaların yapılandırılmasında yapışma performansını etkileyen parametrelerin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara, 2012
- [5] E. Avcu, Farklı büyüklüklere sahip aşındırıcı partikül karışımlarının ti6al4v alaşımının erozif aşınma davranışına etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kocaeli, 2011
- [6] M. E. Satici, Kumlama işleminin ve bu işleme etkileyen parametrelerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, 2004
- [7] M. Uzun, Türbinli kumlama tezgahında işleme parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Karabük, 2013
- [8] R. Wrona, P. Zyzak, E. Ziolkowski, M. Brezezinski, Methodology of testing shot blasting machines in industrial conditions, *Archives of Foundry Engineering*. 12 (2) (2012), 97-104. doi: 10.2478/v10266-012-0045-6
- [9] M. Özcan, A. O. Özkan, Otomasyon sistemlerinde PLC uygulamaları, *Nobel*, 975-6574-36-4, Sayfa Sayısı 316, İstanbul, 2004
- [10] M. Özcan, M. Yağcı, V. ALVER, An alternative boom design and welding technique to minimize energy consumption during boom production, *Sharif University of Technology Scientia Iranica Transactions B: Mechanical Engineering*. (4) 6 (2017), 2856-2863. doi: 10.24200/SCI.2017.4310
- [11] M. Özcan, M. F. Ünlersen, M. Mutluer, Realization of green house automation with PLC by using innovative sensors, *4th International Conference on Engineering and Natural Science(ICENS 2018)* 93-93, Kyiv, 2018.

- [12] D. Akçura, PLC ve asenkron motor ile garaj kapısının kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2010
- [13] A. Pişmişoğlu, PLC ile soğutma sistemi otomasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 2016
- [14] N. Çankaya, M. Özcan, Performance optimization and improvement of dust laden air by dynamic control method for jet pulsed filters”, *Advanced Powder Technology*, 30 (7) (2019), 1366–1377. Doi: 10.1016/j.apt.2019.04.014
- [15] A. Akkaş, Askılı kumlama makinesinin PLC ile kontrolü ve kumlama işlemi için gereken işlemlerin optimizasyonunun gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2019.